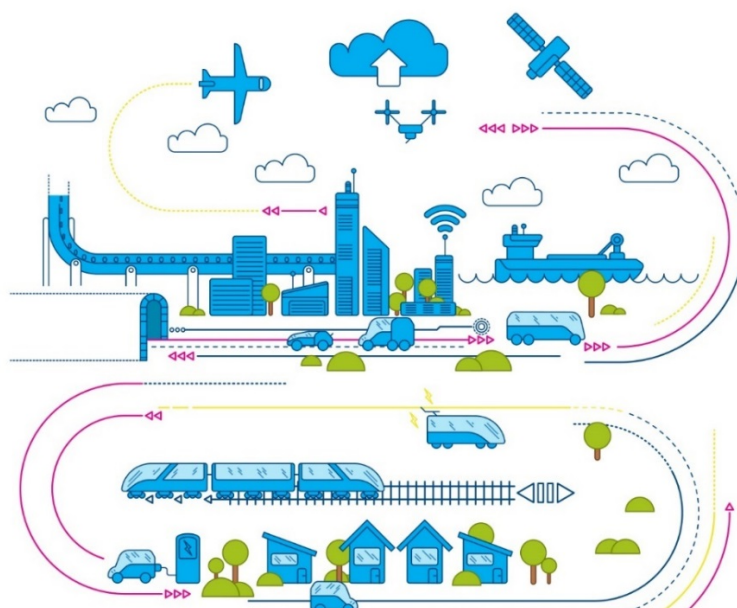


Teknologitrender som påvirker transportsektoren

Trond Bakken

Mats Carlin, Kristin Ystmark Bjerkan, Hans Westerheim, Tomas Eric Nordlander, Roy Bahr, Ørnulf Jan Rødseth, Thor Myklebust, Sture Holmstrøm, Aksel Transeth, Trond Foss, Marit Natvig, Ivonne Herrera, Tommy Mokkelbost, Jon Suul, Roger Khalil, Anders Ødegård, Terje Kristensen, Federico Zenith, Terje Reitaas, Niels Aakvaag, Jan Håvard Skjetne.





SINTEF Digital

Postadresse:
Postboks 4760 Sluppen
7465 Trondheim

Telefaks: 73594302

Foretaksregister:
NO 948 007 029 MVA



Rapport

Teknologitrender som påvirker transportsektoren

EMNEORD:
Teknologi
Transport
Trender

VERSJON
1.1

DATO
2017-09-18

REDAKTØR
Trond Bakken

Medforfattere: Mats Carlin, Kristin Ystmark Bjerkkan, Hans Westerheim, Tomas Eric Nordlander, Roy Bahr, Ørnulf Jan Rødseth, Thor Myklebust, Sture Holmstrøm, Aksel Transeth, Trond Foss, Marit Natvig, Ivonne Herrera, Tommy Mokkelbost, Jon Suul, Roger Khalil, Anders Ødegård, Terje Kristensen, Federico Zenith, Terje Reitaas, Niels Aakvaag, Jan Håvard Skjetne.

OPPDRAUGSGIVER
Jernbanedirektoratet, på vegne av transportetatene og Avinor

OPPDRAUGSGIVERS REF.
Ragnhild Wahl

PROSJEKTNR
102015970

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
90 med vedlegg

SAMMENDRAG: Økt digitalisering, automatisering og elektrifisering

Fremtidens transportsektor vil kjennetegnes av økt digitalisering, automatisering og elektrifisering. I denne rapporten redegjør vi for generelle teknologitrender og teknologitrender som er forventet å ha spesifikk betydning for transportsektoren frem mot 2060.

Rapporten er delt i to deler. I rapportens første del diskuterer vi de generelle teknologitrendene. Deriblant er avanserte materialer, nanoteknologi, avanserte produksjonsmetoder, programvare, robotikk og automatisering, 3D-printing og autonomi noen av nøkkelteknologiene. I rapportens andre del fokuserer vi spesifikt på teknologitrender i transportsektoren innen kategoriene infrastruktur, transportmidler og -objekter, energitype, produksjon og arbeidskraft og tjenester.

Vi konkluderer med at særlig automatisering, digitalisering og elektrifisering vil føre til omveltninger i transportsektoren. Dette drives av både politiske føringer og rammevilkår, men også av samfunn og næringsliv. Viktigheten av fokus på håndtering av og eierskap til data vil øke ytterligere.

UTARBEIDET AV
Trond Bakken

KONTROLLERT AV
Aksel Transeth

GODKJENT AV
Trond Runar Hagen

RAPPORTNR
2017 - 00303

ISBN
978-82-14-06694-4

GRADERING
Åpen

SIGNATUR

Trond Bakken
SIGNATUR

Aksel Transeth

SIGNATUR

Trond Runar Hagen

GRADERING DENNE SIDE
Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
0.1	2017-06-13	Første utkast distribuert til oppdragsgiver før midtveismøte
0.2	2017-06-28	Andre utkast distribuert til enkeltpersoner hos oppdragsgiver for tilbakemelding på endringer etter midtveismøtet
1.0	2017-08-17	Endelig rapport
1.1	2017-09-08	Endelig rapport – oppdatert etter tilbakemelding på versjon 1.0

Innholdsfortegnelse

INNHOLDSFORTEGNELSE	5
SAMMENDRAG.....	7
1 INNLEDNING.....	9
1.1 PROSJEKTET.....	9
1.2 OVERORDNET STRATEGI FOR STUDIEN	10
1.3 FORUTSETNINGER OG BEGRENSNINGER	10
1.4 METODE OG GJENNOMFØRING.....	11
1.5 TIDSPERSPEKTIV	12
1.6 KATEGORISERING AV TEKNOLOGITRENDENE INNEN TRANSPORT	13
DEL 1: GENERELLE TEKNOLOGITRENDER	16
2 GLOBALE NØKKELTEKNOLOGIER	16
2.1 AVANSERTE MATERIALER.....	17
2.2 MIKRO- OG NANOELEKTRONISKE SYSTEMER	17
2.3 NANOTEKNOLOGI	18
2.4 FOTONIKK	18
2.5 AVANSERTE PRODUKSJONSMETODER	19
2.6 PROGRAMVARE.....	19
3. INFORMASJONS- OG KOMMUNIKASJONSTEKNOLOGI (IKT) NØKKELTEKNOLOGIER	19
3.1 ROBOTIKK OG AUTOMATISERING.....	19
3.2 TINGENES INTERNETT (INTERNET OF THINGS)	21
3.3 VIRTUELL OG FORSTERKET VIRKELIGHET	25
3.4 BRUK AV DATA	26
3.5 FREMTIDENS FABRIKKER.....	30
3.6 3D-PRINTING.....	33
3.7 AUTONOMI	35
DEL 2: TEKNOLOGITRENDER I TRANSPORTSEKTOREN	38
4 INFORMASJONS- OG KOMMUNIKASJONSTEKNOLOGI (IKT) I TRANSPORTSEKTOREN	38
4.1 AUTOMATISERING: MULIGGJØRENDE TEKNOLOGIER.....	39
4.2 AUTOMATISERING: TRENDER I TRANSPORTSYSTEMET	42
4.3 ELEKTRIFISERING.....	50
4.4 SMARTE BYER OG SAMFUNN	50
4.5 CYBERSIKKERHET (CYBER SECURITY)	52
4.6 EIERSKAP TIL DATA	53
4.7 STANDARDISERING.....	56
5 INFRASTRUKTUR I TRANSPORTSEKTOREN	59
5.1 SMART INFRASTRUKTUR	60
5.2 FJERNSTYRTE KONTROLLTÅRN.....	61
5.3 SATELLITTBASERT KOMMUNIKASJON OG NAVIGASJON	61
5.4 INFRASTRUKTURDESIGN FOR AUTOMATISERING.....	62
5.5 TRANSPORT AV GODS I RØR.....	62

5.6 HYPERLOOP.....	62
6 TRANSPORTMIDLER OG TRANSPORTOBJEKTER	64
6.1 AUTONOME DRONER.....	64
6.2 AUTONOME FLY	65
6.3 AUTONOME SKIP OG FERGER.....	65
6.4 AUTONOME BILER.....	68
6.5 AUTONOME TOG	69
6.6 INTELLIGENT GODS.....	70
7 TRANSPORTMIDDELETS ENERGITYPE.....	72
7.1 KJØRETØY MED NY DRIVSTOFFTEKNOLOGI.....	72
7.2 DIREKTE ELEKTRISK ENERGIOVERFØRING TIL KJØRETØY I BEVEGELSE	77
8 PRODUKSJON OG ARBEIDSKRAFT	81
8.1 AUTOMATISERT VEDLIKEHOLD	82
9 TJENESTER	82
9.1 TJENESTER FOR PERSONTRANSPORT	83
9.2 TJENESTER FOR GODSTRANSPORT.....	84
9.3 DRONER SOM EN TJENESTE	84
REFERANSER.....	86
VEDLEGG	89

VEDLEGG

-
1. En utfyllende beskrivelse av ARKTRANS
-

Sammendrag

Fremtidens transportsektor vil kjennetegnes av økt digitalisering og automatisering. I denne rapporten redegjør vi for generelle teknologitrender og teknologitrender som er forventet å ha spesifikk betydning for transportsektoren frem mot 2060.

Rapporten er delt i to deler. I rapportens første del diskuterer vi de generelle teknologitrendene. Deriblant er avanserte materialer, nanoteknologi, avanserte produksjonsmetoder, programvare, robotikk og automatisering, 3D-printing og autonomi noen av nøkkelteknologiene. I rapportens andre del fokuserer vi spesifikt på teknologitrender i transportsektoren innen kategoriene infrastruktur, transportmidler og –objekter, energitype, produksjon og arbeidskraft og tjenester.

I 2016 utførte SINTEF 5.700 forskningsoppdrag for 4000 kunder, og er et av Europas største uavhengige forskningsinstitutter. SINTEF deltar også tungt i EUs strategiske plattformer for fremtidig teknologi. Vi har bygget på SINTEFs omfattende kunnskap om de teknologitrendene som kommer gjennom vårt tette samarbeid med industrielle aktører både nasjonalt og internasjonalt, på tvers av mange bransjer, men samtidig søkt å holde fremstillingen kort og konsis.

Vi konkluderer med at særlig automatisering, digitalisering og elektrifisering vil føre til omveltninger i transportsektoren. Denne drives av politiske føringer og rammevilkår, samt av samfunn og næringsliv. Viktigheten av fokus på håndtering av og eierskap til data vil øke ytterligere.

Fartøy til sjøs, i lufta og på land (på bane og veg) blir automatisert – både for gods og persontransport. Ubemannede skip og autonomi gir mulighet for utvikling av nye transportsystemer, spesielt på korte og mellomlange distanser, som kan konkurrere med lastebil. Automatisert kjøring på veg skjer innenfor rammen av intelligente transportsystemer (ITS), der anvendelse av IKT gjør transportsystemene mer trafiksikre, mer effektive, mer miljøvennlige og mer tilgjengelige for alle typer trafikanter. I løpet av det neste tiåret forventes også etablering av autonome (selvkjørende) systemer for jernbane. Mellom 2035 og 2050 vil luftfarten i Europa bli ytelsesstyrt og tjenestene bli gitt fra ende til ende, og ikke oppdelt i sektorer og nasjonale grenser som i dag. En antar at autonome fly tas i bruk mellom 2040 og 2050.

Fremtidens smarte byer og samfunn vil være preget av bl.a. smart energistyring, smarte bygninger og smart transport. Det som kjennetegner smarte samfunn vil være at tjenestene og løsningene vokser fram over tid, og at tjenester og løsninger henger sammen. I smarte byer og samfunn vil transportmidlene i stor grad være elektriske, og disse må lades uten at strømmettet overbelastes og uten at strømmettet må bygges ut til å tåle store toppekter med etterspørsel etter energi. Man må ha energismarte nabolag med smart energistyring, lokal produksjon av ren energi og mulighet for å lagre denne energien til det er bruk for den (f.eks. til billading). Smarte byer og samfunn vil ha et redusert arealbehov ved at transportmidlene har høy utnyttelsesgrad gjennom delt mobilitet, og det blir mulig å forflytte seg fra dør til dør gjennom "Mobility as a service" (MaaS) hvor egnede transporttjenester fra ulike leverandører kombineres på en best mulig måte.

Smart infrastruktur i transportsektoren vil gjøre transportsystemene mer effektive, sikrere, miljøvennlige og tilgjengelige for alle typer brukere. Design for automatisering vil gjøre at roboter og fartøy mer effektivt vil kunne operere på og i ny infrastruktur.

En tidligere studie gjort av SINTEF viser at både batteri- og hydrogenteknologi er mulig i godstransport. Når det gjelder ferger og hurtigbåter som drives av hydrogen har utviklingen startet og det ser ikke ut til å være noen umiddelbare showstopper i teknologien. Hydrogenferger og -hurtigbåter kan forventes å være i bruk rundt 2020. Fly med batterier og hydrogen på tanken er også blitt vist fram de siste årene. Batteriteknologi utvikler seg mot lavere priser og høyere energitetthet. Med introduksjonen av serieproduserte hydrogenbiler fra Toyota, Honda og Hyundai m.fl. de neste årene, bør regelverket og den grunnleggende infrastrukturen være på plass innen 2020 i mange land.

3D-printing kan flytte produksjonen fra store sentrale produksjonssteder til lokale bedrifter og til og med til hjemmene til forbrukerne. Dette vil kunne påvirke transporten av gods.

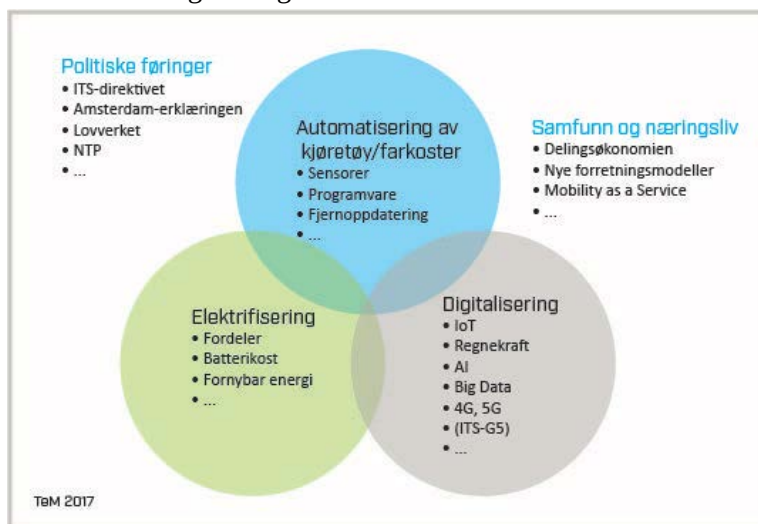
Fjernstyrte droner i lufta brukes allerede i dag til inspeksjonsoppdrag. I fremtiden vil autonome droner og roboter kunne utføre komplekse operasjoner slik som vedlikeholdsarbeid alene og i samarbeid med mennesker. Droner i lufta og på land vil bidra i last- og first mile delivery.

Intelligent gods, fysisk internett, og automatisering av lasting, lossing og godsbevegelser i terminaler kan gi mer effektiv og miljøvennlig godstransport.

Transportsystemene er utvilsomt i endring og teknologitrendene bringer med seg mange spennende muligheter. Norge har med et kompetansebasert næringsliv og god digital infrastruktur gode forutsetninger for å dra nytte av og kapitalisere på de mulighetene som vil skapes og utfolde seg i årene som kommer.

1 Innledning

Det er flere teknologiske trender og drivere som påvirker utviklingen av transportsystemet, samtidig som at utviklingen påvirkes av andre komplekse prosesser. Som et eksempel kan vi se på hvilke trender og drivere innenfor transport som legger til rette for selvkjørende nullutslippskjøretøy (Figur 1). De viktigste teknologitrendene, automatisering, elektrifisering og digitalisering, drives av både politiske føringer og rammevilkår, men også av samfunn og næringsliv.



Figur 1. Komplekse prosesser

Et viktig utviklingstrekk for transportsystemet er anvendelse av kooperative intelligente transportsystemer (C-ITS), som for eksempel ITS-G5 (trådløs kommunikasjon med kort rekkevidde) for vegtransport og ERTMS ("European Rail Traffic Management System") og CBTC ("Communications-Based Train Control") innenfor bane. Dette legger også til rette for integrerte mobilitetstjenester ("Mobility as a Service", *MaaS*) [Giesecke et al., 2016], der både luft, bane, veg og sjø er integrert i felles transporttjenester.

Denne rapporten fokuserer på teknologiske trender og drivere, men vil også berøre utviklingstrekk vedrørende politiske føringer, samfunn og næringsliv.

1.1 Prosjektet

Denne rapporten presenterer resultatene fra prosjektet "Teknologitrender som påvirker transportsektoren" som ble utført av SINTEF på oppdrag gitt av Statens vegvesen, Jernbanedirektoratet, Kystverket og Avinor, i perioden mai til august 2017. Målsettingen med prosjektet har vært å kartlegge og sammenstille de viktigste teknologitrendene som på mellomlang og lang sikt er forventet å påvirke gjennomføring og etterspørsel etter transport. Hensikten med prosjektet er å etablere et kunnskapsgrunnlag som kan benyttes i strategiske beslutningsprosesser tilknyttet bruk og utvikling av teknologi i transportetaten og Avinor. Rapporten gir derfor en forskningsbasert redegjørelse for ulike teknologitrender, og beskriver hvilke teknologitrender som er forventet å ha betydning for transportsektoren frem mot 2060. Rapporten inneholder de antatt mest sentrale teknologitrendene som har, eller kan ha, relevans for transport på mellomlang og lang sikt. Rapporten belyser forventet utvikling, usikkerhet og mulighetsrom for denne teknologiutviklingen, og vurderer tidsperspektiv for de ulike trendene. SINTEF-rapporten "Effekter av teknologiske endringer på norsk nærings- og arbeidsliv"

[Carlin et al., 2015] og ERTRAC-rapporten "Integrated urban mobility roadmap" [ERTRAC, 2017] utgjør et viktig utgangspunkt for rapporten.

Det er viktig å presisere at prosjektet ikke har hatt som formål å gi en fullstendig oversikt over alle transportrelevante teknologier og applikasjoner som er under utvikling eller som ventes frem mot 2060. Derimot skal prosjektet gi en overordnet beskrivelse av de viktigste og største teknologiske endringene som kan forventes. Slik skal rapporten fra prosjektet kunne benyttes som et grunnlag for mer detaljerte og fokuserte vurderinger og analyser, for eksempel knyttet til særskilte transportformer eller særskilte teknologitrender.

Denne rapporten skiller mellom generelle teknologier og teknologi utviklet særlig for transportområdet. Del 1 av rapporten omhandler generelle teknologier, hvor transportetatene har liten eller ingen påvirkning på hva som skjer. Del 2 av rapporten omhandler spesifikke teknologier for transportområdet, hvor transportetatene kan være med å styre utviklingen gjennom internasjonale aktiviteter og samarbeid.

1.2 Overordnet strategi for studien

Å beskrive hvilke teknologitrender som har betydning for transportsektoren fram mot 2060 er en krevende øvelse som ikke kan gi en entydig konklusjon. Eksisterende forskning gir imidlertid god oversikt over hvilke teknologier og drivere som er i front i dag, og hvilke som kan forventes å påvirke utviklingen på kort og lang sikt. Disse vurderingene er basert på SINTEFs egen forskning, samt deltakelse i nasjonale og internasjonale forskningssamarbeid. SINTEFs konsernsatsninger for autonom transport (SATS) og nullutslippsmobilitet ("Zero-Emission Mobility Accelerator") omfatter også relevant tematikk. Vurderingene i prosjektet er videre tuftet på lang og god kontakt med lovgivende og regulerende myndigheter inne de ulike transportformene.

Dette prosjektet har fokusert på teknologidrivende trender som SINTEF mener vil få størst påvirkning på fremtidig infrastruktur, person- og godstransport. Et kjennetegn ved disse teknologiene at de muliggjør svært billige produkter med meget rask produkt- og prosessutvikling. Derfor er det naturlig å se på enkelte nøkkelteknologier, nye avanserte produksjonsmetoder som bygger på nøkkelteknologiene samt nye produkter, tjenester og forretningsmodeller som muliggjøres.

Teknologitrender vil påvirke både person- og godstransport og alle transportformene som dette prosjektet omfatter. Prosjektet tar høyde for å se inn i fremtiden hvordan slike trender og driverne vil påvirke utviklingen på mellomlang og lang sikt, og på denne måten etablere et grunnlag for strategiske beslutninger.

1.3 Forutsetninger og begrensninger

Det er knyttet mye usikkerhet til hvordan teknologiutviklingen går på lang sikt, frem mot år 2060. Gjennom kontakt med miljøer som driver teknologiutviklingen, og tatt i betraktning tidkrevende innføring av bærende teknologi, ser vi allerede i dag konturene av teknologi som vil være i daglig bruk i 2033 (mellomlang sikt).

Utviklingen på lang sikt (dvs. frem mot 2060) kan imidlertid antas å påvirkes av banebrytende gjennombrudd, slik som for eksempel hvilken type energiform som blir den dominerende (hydrogen, elektrisitet etc.). Fordi disse gjennombruddene kan være krevende å forutse vil anslag og vurderinger knyttet til teknologitrender på lang sikt være knyttet til større usikkerhet. Rapporten peker likevel på noen viktige teknologitrender og hvilket potensial de har til å påvirke transport og infrastruktur. Rapporten bygger på forskningsbasert kunnskap fra en bredt sammensatt prosjektgruppe i SINTEF, med bidrag fra eksperter i transportetatene og Avinor. Studien har vært begrenset i tid, og har fokusert på sammenstilling av eksisterende kunnskap. SINTEF er en stor

organisasjon med rundt 2000 ansatte, og dekker mange fagfelt. I rapportens del 2, som er direkte rettet inn mot transportsektoren, har rundt 25 forskere bidratt. Innholdet viser hvilken forskning disse ekspertene er involvert i. Rapporten vil derfor ikke vise et komplett bilde som dekker alle teknologitrender eller alle transportformer. Enkelte lesere vil derfor kunne savne enkelte tema, noe som betyr at SINTEF mest sannsynlig ikke deltar i forskningsaktivitet på dette området på nåværende tidspunkt. Hensikten med studien har ikke vært å gi detaljerte beskrivelser av forventet utvikling for ulike transportformer, men inneholder eksempler knyttet til enkelte transportformer.

1.4 Metode og gjennomføring

Teknologitrendene er kartlagt og beskrevet av et ekspertpanel. Først gjennom en eksplorativ kartlegging, senere gjennom en strukturert kartlegging etter spesifikke kategorier. Transportsystem, transport, transportmodi og lignende begrep er i enkelte tilfeller brukt om hverandre, og betydningen vil fremgå av sammenhengen. ARKTRANS [Natvig et al., 2009] er det norske rammeverket for teknologiavhengig og multimodal beskrivelse av transportområdet. Rammeverket er ikke brukt i denne rapporten men en kort oversikt er gitt i vedlegg.

1.4.1 Ekspertpanel

Rapporten tar utgangspunkt i den samlede kompetansen tilknyttet transport og teknologi hos SINTEF. For å sikre at de fleste relevante aspekter knyttet til teknologitrender i transport ble belyst ble det satt sammen et ekspertpanel som skulle gi innspill og vurderinger av teknologier. Ekspertpanelet besto av omtrent 25 personer fra alle deler av SINTEF. Panelet bestod av eksperter innen mange fagfelt, slik som optimering, robotikk, automatisering, energi, maritime fag, sikkerhet, transportfag, samfunnsvitenskap, logistikk, programvareutvikling, systemutvikling, sensorsystemer, optikk, kommunikasjon, fysikk med flere.

1.4.2 Eksplorativ kartlegging

Det første steget i prosjektet var en eksplorativ kartlegging av teknologitrender som ekspertpanelet mente ville ha særlig betydning for transportsystemet frem til 2060. Etter et innledende møte der formålet med prosjektet ble presentert, ble medlemmene i ekspertpanelet invitert til å beskrive teknologitrender som direkte eller indirekte påvirker transportsektoren knyttet til hver eksperts fagfelt. Ekspertene stod fritt til å innhente ytterligere innspill eller samarbeide med andre i eget fagmiljø. Panelet fikk dermed en åpen bestilling, som skulle sikre at beskrivelsene reflekterte de trendene ekspertene selv opplevde som mest relevante og aktuelle.

Den eksplorative kartleggingen viste stor konsensus mellom ekspertene når det gjelder hvilke overordnede trender som vil ha størst betydning frem mot 2060. Ekspertenes beskrivelser dekket de samme utviklingstrekkene på tvers av transportmodi, og særlig fremstod automatisering, elektrifisering og bruk av droner som sentrale trender. Trender tilknyttet digitalisering av transportsystemet ble fremhevet.

1.4.3 Strukturert kartlegging

Den eksplorative kartleggingen viste hva de største teknologitrendene forventes å være frem mot 2060. For å sikre forventede trender i tillegg til bruk av IKT i transportsystemet ble ekspertpanel invitert til å gi innspill til en tabell der teknologitrendene kategoriseres ut i fra logiske, funksjonelle og organisatoriske sammenhenger. Dermed skulle ekspertene gi innspill til teknologitrender innen følgende kategorier:

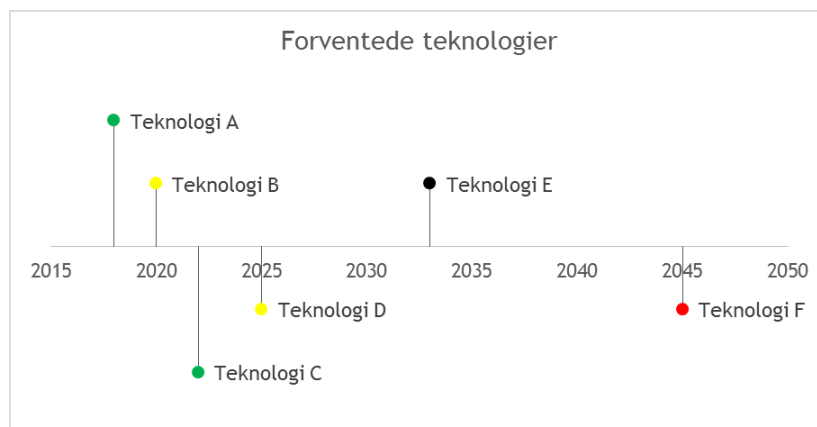
1. informasjons- og kommunikasjonsteknologi (IKT)

2. transportinfrastruktur
3. transporttransportmidler og –objekter
4. transportmiddelet energitype
5. produksjon og arbeidskraft, og
6. tjenester.

Kategoriseringen er nærmere beskrevet i kapittel 1.6. I tillegg til at den strukturelle kartleggingen ga en bredere beskrivelse av teknologiutviklingen mot hele transportsystemet, var den utformet slik at ekspertene skulle presisere når de forventet at teknologien ville være klar til bruk. Oversikt over innspill i den strukturerte kartleggingen gjengis i del 2.

1.5 Tidsperspektiv

For hver kategori av trender vil det gjengis en tidslinje som angir når ulike teknologier er forventet å være klare til bruk. Her er det viktig å bemerke at tidsvurderingene som ligger til grunn er optimistiske, og tar utgangspunkt i antatt tidligste bruk. Fargene på kulepunktene som markerer hver enkelt teknologi indikerer videre med hvor stor sikkerhet tidsvurderingen er gjort. Røde punkter indikerer vurderinger med liten sikkerhet, gule punkter indikerer middels sikkerhet, og grønne punkter indikerer høy sikkerhet. Tidspunkt for angivelse er vurdert av eksperten som har gitt et konkret innspill, og det er den samme eksperten som angir hvor sikker vurderingen er. Sorte punkter på tidslinjen indikerer teknologier der eksperten ikke har vurdert hvor sikker tidsangivelsen er.



Figur 2. Eksempel på tidslinje for fiktive, forventede teknologier

Det er imidlertid viktig å poengtere at enkelte teknologier vil tas gradvis i bruk. Det vil si at enkle eller småskala varianter av den teknologiske løsningen raskt er klare til bruk, og at teknologien innføres gjennom flere iterasjoner og modifikasjoner før fullskala, operativ drift. Dette gjør det krevende å angi ett tidspunkt for antatt tidligst brukt, og noen steder skilles det derfor mellom teknologiens ulike stadier.

1.6 Kategorisering av teknologitrendene innen transport

Det kan være hensiktsmessig å kategorisere de ulike teknologiene ut i fra logiske, funksjonelle og organisatoriske sammenhenger når potensialet for de ulike rollene i de ulike transportmodusene skal vurderes. En nærmere beskrivelse av kategoriene som ble introdusert i kapittel 1.4.3 er gitt nedenfor.

1.6.1 Informasjons- og kommunikasjonsteknologi (IKT)

Dette vil kanskje være den kategorigruppen teknologi som i størst grad vil påvirke fremtidig transport av personer og gods. Denne gruppen omfatter bl.a.:

- ny sensorteknologi som kan registrere tilstanden på objekter i transportsystemene og deres omgivelser
- nye, sikre og mer effektive former for kommunikasjon
- tingenes internett (*Internet of Things*, IoT) som vil knytte alle objekter i transportsystemene sammen til et samvirkende, sikkert og effektivt system slik at objektene kan utveksle informasjon og tjenester
- kunstig intelligens (AI) som vil kunne støtte beslutningstakere i viktige avgjørelser, f.eks. bilfører i en kritisk situasjon eller en operatør av en trafikkentral, og som vil kunne styre komplekse systemer.
- virtuell virkelighet (VR) som kan brukes av mange av rollene beskrevet senere i dette kapitlet, f.eks. ved utvikling av ny transportinfrastruktur og ved opplæring av førere på ulike typer transportmiddel
- datasikkerhet (cyber security) som er meget nødvendig for at transportmidler, infrastrukturutstyr langs infrastrukturen og sentrale styrings- og kontrollsystemer i intelligente transportsystemer skal kunne fungere på en effektiv og sikker måte.
- datasikkerhet (tillit/trust) er viktig for å kunne digitalisere samhandlingen mellom aktørene i transportsystemet. Når papirbaserte og signerte dokumenter med deres tilhørende legale status forsvinner må de erstattes med en tilsvarende digital løsning som gir tilsvarende tillits- og transparensnivå. Dette gjelder autentisering av innhold, beskyttelse mot endring og autentisering av sender. Blockchain og Public Key Infrastructures (PKI) er eksempler på teknologi som kan støtte dette.
- innsamling, bearbeiding og analyse av store datamengder (Big Data) som vil gjøre det mulig å utvikle nye transporttjenester og styre og kontrollere transportsystemene på en mer effektiv måte
- samvirkende ITS (C-ITS) som er IKT-systemer som er installert i kjøretøyer, infrastruktur, kontroll- og styringssystemer og utstyr brukt av transporttjenestebruker (f.eks. smarttelefoner) og som samvirker ved å levere ITS-tjenester til brukeren av ITS-tjenesten.

1.6.2 Transportinfrastruktur

Ny teknologi kan føre til vesentlige endringer i selve infrastrukturen. Dette gjelder spesielt transport på veg og bane hvor f.eks. Hyperloop for transport av personer og gods kan flytte transport fra de eksisterende former for transportinfrastruktur over på et helt nytt transportsystem. Det er stilt spørsmål om Hyperloop kan være en realistisk transportinfrastruktur for norsk topografi, men det bør i hvert fall nevnes i et fremtidsperspektiv.

Terminaler er også en viktig del av transportinfrastrukturen. Smarte og helautomatiserte godsterminaler kan føre til at det etableres et slags internett for gods, også kalt *fysisk internett*. Godset sendes tilsvarende som datapakker i et kommunikasjonsnett. Godset settes sammen til "godspakker" i en terminal som sendes til neste terminal hvor pakkene løses opp og settes sammen med annet gods på terminalen til nye godspakker som sendes videre til nye terminaler på samme måte som datapakker i et internett. Intelligent gods kan selv delta i prosessen med å bestemme hvilke pakker godset skal være en del av ved at godset bærer med seg informasjon

om foretrukket rute og transportmodus, krav til sikkerhet, krav til omgivelser (temperatur osv.) og krav til leveringstid.

1.6.3 Transportmidler og transportobjekter

Ny teknologi anvendes til å utvikle nye transportmidler som er sikrere, mer miljøvennlige og mindre ressurskrevende i form av førere og mannskap. Dette er transportmidler som vil endre både tilbud og etterspørsel av transporttjenester i fremtiden. På veg vil selvkjørende biler kunne ha et stort potensial med tanke på sikker og effektiv avvikling. Videreutvikling av elektriske kjøretøyer vil også kunne endre reisevaner for personer og transport av gods. Denne videreutviklingen gjelder ikke bare personbiler, men også næringskjøretøy og andre elektriske kjøretøyer, f.eks. el-sykler. Flyvende biler er fortsatt tidlig i utviklingsprosessen, men det er bygget protyper som viser at kombinasjonen bil/fly kan være et fremtidig transportmiddel som kan ha effekt på lengre sikt. Droner er på vei inn i godstransporten og vil kunne endre "first og last mile" leveranser av gods. Droner kan også brukes til automatisk overvåking av infrastruktur, f.eks. på spesielle ras- og flomutsatte områder. Innenfor bane skjer det også en utvikling innenfor høyhastighetstog som på sikt kan endre tilbud og etterspørsel både innenfor person- og godstransport.

1.6.4 Transportmidelets energitype

Utviklingen innenfor bærekraftig energi og nullutslipp i transporten vil påvirke fremtidig infrastruktur og transportmidler. Elektrisitet lagret i batterier eller tilført kjøretøyene gjennom infrastrukturen som induktive ladesystemer i vegbanen og kjøreledninger over kjørefeltet forventes å bidra til merkbare endringer når det gjelder bærekraftig transport. Utvikling i bruk av hydrogen som energitype vil også påvirke fremtidig transport.

1.6.5 Produksjon og arbeidskraft

Nye former for produksjon i industrien vil kunne endre tilbud og etterspørsel etter transporttjenester. Et typisk eksempel er 3D-printing som kan flytte produksjonen fra store sentrale produksjonssteder til lokale bedrifter og til og med til hjemmene til forbrukerne. Dette vil kunne påvirke transporten av gods. Roboter vil etter hvert kunne utføre både bygging og vedlikehold av infrastruktur.

1.6.6 Tjenester

Utviklingen innenfor transporttjenester inkluderer blant annet mer samhandling på tvers av transportmodiene og transportmidlene. Et typisk eksempel er samordnede persontransporttjenester hvor transporttjenestebrukeren kan kjøpe pakker med reiseprodukter som gir brukeren (kunden) tilgang på en rekke transporttjenester på en måte som er både fleksibel og effektiv for brukeren. Et eksempel på et slikt konsept er integrerte mobilitetstjenester (*Mobility as a Service*, MaaS) slik det er beskrevet på nettsiden til MaaS Global [Maas, 2017].

Nye ITS-tjenester vil også påvirke tilbud og etterspørsel av transporttjenester. ITS-tjenestene kommer til å bidra til at transporttjenestene blir sikrere, mer effektive, mer miljøvennlig, mer komfortabel og mer tilgjengelig for alle trafikanntyper. ITS-tjenester er derfor et tiltak myndigheter kan bruke til å styre tilbud og etterspørsel og det er også en tjeneste som vil kunne tiltrekke seg kommersielle aktører.

Innenfor vegsektoren vil for eksempel nye tjenester knyttet til delingsøkonomi som bildelingstjenester kunne forventes å påvirke både bilhold og bruk av bil i byer.

Det er nesten ikke grenser for hvilke tjenester en kan se for seg innen transportsektoren, og det vil være for omfattende å beskrive mange av disse i denne rapporten. Tjenester er derfor beskrevet i generelle former med noen få eksempler.



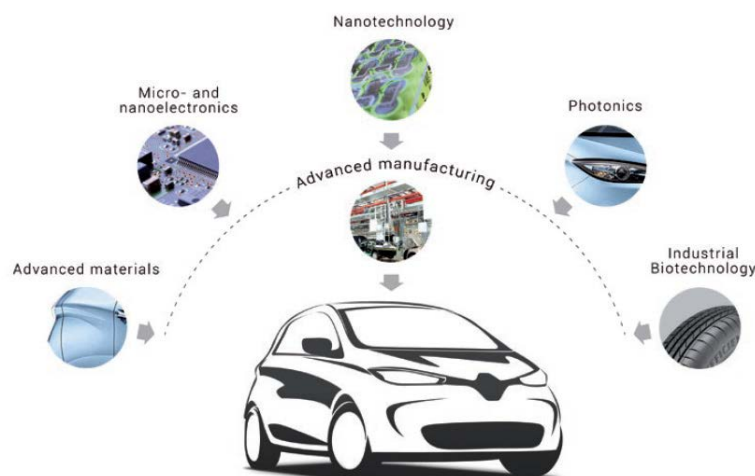
DEL 1: GENERELLE TEKNOLOGITRENDER

Denne delen av rapporten presenterer de teknologidrevne trendene som vi mener får størst påvirkning på person- og godstransport på mellomlang og lang sikt. Vi vil beskrive en del grunnleggende nøkkelteknologier og hvordan disse påvirker avanserte produksjonsmetoder som kan være relevant for transportnæringen. I del 2 av rapporten omtales trender som direkte eller indirekte er viktig for transportetterspørsel- og tilbud.

2 Globale nøkkelteknologier

EU-kommisjonen har nedsatt en ekspertgruppe innen muliggjørende teknologier. Denne gruppen har definert følgende muliggjørende nøkkelteknologier for fremtidens industri i Europa [KET, 2011], [KET, 2015]:

- Avanserte materialer
- Mikro- og nanoelektronikk
- Nanoteknologi
- Fotonikk
- Industriell bioteknologi
- Avanserte produksjonsmetoder
- Programvare



Figur 3. Nøkkelteknologier

Disse nøkkelteknologiene er kunnskaps- og kapitalintensive teknologier som gjennomsyrrer prosess-, produkt- og tjenesteinnovasjon i hele vår økonomi. De krever tung satsning på forskning og utvikling på grunn av de raske innovasjonssyklusene som disse teknologiene går gjennom. Og de har relevans på systemnivå da de er generiske teknologier som kan anvendes på tvers av mange sektorer. Kommunikasjonsteknologi er ikke nevnt i spesiell grad, som for eksempel mobil og trådløs kommunikasjonsteknologi, men dette vil bringes inn i rapporten hvor det er naturlig. Bioteknologi ses ikke på som spesielt relevant i denne sammenhengen og beskrives derfor ikke videre.

Nøkkelteknologiene:

- er selve kjernen i avanserte innovative produkter,
- er en del av mange strategiske viktige verdikjeder,
- gir mange produkter stor merverdi, og
- danner selve grunnlaget for konkurransekraft i fremtiden.

2.1 Avanserte materialer

Avanserte materialer er en nøkkelteknologi for all produksjon – det å ha kunnskap om nye materialer og deres bruksområder er avgjørende for prosess- og produktinnovasjon. I Norge har vi gode kunnskaps- og produksjonsmiljøer innen metallurgi, betong, polymerere og komposittmaterialer. Norge har en betydelig produksjon av høyteknologiske deler til både skip og biler basert på denne kunnskapen. Avanserte materialteknologier er viktige for å redusere ressursavhengigheten og miljøutfordringene med produksjon. Nye avanserte materialer endrer ofte egenskapene til produktet, bygger inn flere egenskaper i produktet, øker levetiden eller senker kostnaden og kan radikalt endre verdikjeder og produksjonsformer. Et eksempel på dette kan være nye overflater som er mer slitesterke, er vannavstøtende eller lettere å rengjøre, noe som kan øke levetiden på slitasjedeler.

Grafen [grafén] er et eksempel på et materiale det forskes mye på over hele verden. Grafen består av et enkelt lag med karbonatomer som har helt uventede fysiske egenskaper med mye høyere ledningsevne og lavere motstand enn noe annet kjent materiale, samtidig som det har meget høy styrke. Utfordringen med grafen er produksjonsmetoder og produksjonskostnad. For at det skal bli en "game changer" må det kunne produseres i større arealer til lavere kostnad enn i dag. Dersom man får til dette gjennombruddet kan det føre til mye raskere elektronikk, nye sensorer, antenner og batterier, samt en rekke andre anvendelsesområder vi i dag ikke kjenner.

2.2 Mikro- og nanoelektroniske systemer

Mikro- og nanoelektroniske systemer og komponenter er viktige byggeklosser innen all automatisering og halvledertechnologi, og er fundamentet i datamaskiner, roboter, mobiltelefoner og verdensveven. I Norge har vi sterke kunnskaps- og designmiljøer innen halvlederindustri med utviklete komponenter som finnes innebygd i produkter verden over, men miljøene er kanskje ikke så synlig utad fordi selve produksjonen skjer utenlands. I EU sysselsettes 2,5 millioner mennesker tilknyttet hele verdikjeden rundt mikro- og nanoelektronikk og denne sektoren anslås å bidra med 10% av globalt BNP [KET, 2015]. Det er av strategisk viktighet å opprettholde en posisjon innen denne nøkkelteknologien. Antall transistorer på et gitt areal i en integrert krets dobles cirka annethvert år. Denne observasjonen kalles Moore's lov. Det er denne observasjonen som på mange måter har vært driveren i den helt fantastiske utviklingen vi har sett i prosessorkraft siden transistorens

barndom for over 50 år siden. Det er viktig å forstå at dette er en observasjon og ikke en fysisk lov. Det vil derfor være naturlig å anta at man en gang i fremtiden vil nå en metning i antall transistorer som er fysisk mulig å få ned på et areal, men det er sannsynligvis enda et godt stykke frem dit.

Et eksempel på en mikro- og nanoteknologisk komponent som inngår i mange anvendelser er miniatyriserte trykksensorer. De inngår i høydemålerne på fly, dekktrykksmålere i biler, kan brukes for å måle trykket i urinblæren eller sjekke at ventiler under vann er tette. Disse kan også anvendes for å måle reell slitasje på godsvogner, lastebiler eller infrastruktur slik at man kan gjennomføre prediktivt vedlikehold.

2.3 Nanoteknologi

Nanoteknologi er teknologi som bruker de fysiske egenskapene til partikler eller strukturer på nanometerskala, som er mindre enn en titusendes millimeter, gjerne på atom- eller molekylnivå. Nanoteknologi inngår som en viktig komponent i stadig flere produkter. Grunnen er at fysikken i et materiale eller en sensor på nanometerskala er slik at man i stor grad kan skreddersy egenskaper ved et produkt som tidligere ikke ville vært mulig. Norge har en nasjonal satsning innen mikro- og nanoteknologi, men det koster å holde følge internasjonalt innen denne sektoren, slik at man er nødt til å spisse seg på noen utvalgte områder. Dette er den nøkkelteknologien som har høyest økonomisk vekstrate de siste årene. Det globale markedet for nanomaterialer er estimert til 20 milliarder € [KET, 2015].

Et eksempel på anvendelse av nanoteknologi er bruk i belegg som beskytter metall, glass og andre overflater mot korrosjon, riper og væsker. Slike belegg benyttes blant annet i bilindustrien hvor det er utviklet produkter som beskytter frontruten mot riper og dugg. En annen anvendelse er lakk forsterket med nanomaterialer som beskytter karosseriet mot korrosjon ved å danne et beskyttende og vanntett belegg. Nanomaterialer har den fordel at det kan bidra til å unngå mange av de skadelige løsemidlene som finnes i lakk uten å gå på bekostning av de gode egenskapene.

2.4 Fotonikk

Fotonikk består i å bruke lys til ulike formål fra måling og kommunikasjon til energikonvertering. Fotonikk omfatter optisk måleteknikk, sensorer, solceller, optisk kommunikasjon og belysning/display-formål. Fotonikk er avgjørende for både autonomitet og robotisering fordi den muliggjør berøringsfrie målinger, det å sanse omgivelsene på avstand. Fotonikk er også avgjørende for å formidle visuell informasjon til mennesker. Det finnes over 5.000 selskaper innen denne industrien i EU med 300.000 ansatte og den forventes å nå en omsetning på 615 milliarder € i 2020 [KET, 2015]. I tillegg er nesten 2 millioner ansatte i produksjonsindustrien direkte avhengige av fotonikkprodukter [KET, 2011].

Ryggraden i internett og raske bredbåndsløsninger er i dag bygget på fotonikk i form av fiberoptiske komponenter og lasere. Fotonikk benyttes aktivt i selvkjørende biler og autonome droner.

2.5 Avanserte produksjonsmetoder

Avanserte produksjonsmetoder bygger på de andre nøkkelteknologiene, men er likevel fremhevet som en nøkkelteknologi i seg selv på systemnivå. Avanserte produksjonsmetoder er nødvendige for dagens kompliserte teknologiske vareproduksjon. Med avanserte produksjonsmetoder mener vi produksjonsmetoder og prosesser som til stor grad benytter høyteknologiske komponenter og nøkkelteknologier. Produksjon er selve ryggraden i et velfungerende moderne samfunn da den driver frem både økonomi, sysselsetting og innovasjon.

Avanserte produksjonsmetoder kan endre hvordan man tenker seg fremtidens produksjon, også i forhold til bygging og vedlikehold av transportinfrastruktur. Dette omfatter 3D-printing og lagvis produksjon, robotisering og automatisering, samt tingenes internett og cyber-physical systems.

2.6 Programvare

Programvare blir omtalt som den glemte nøkkelteknologien. Uten programvare hadde det ikke vært mulig å realisere digitale produkter og tjenester. Nesten alle høyteknologiske produkter og tjenester i dag inneholder programvare eller krever avansert programvare for å kunne produseres. Programvare er også kjernen i mange av de største innovasjonene i dag; verdensveven, tingenes internett, mobiltelefoner, store datamengder, skytjenester osv. Det Europeiske programvaremarkedet er verdens nest største med 2,75 millioner ansatte og en omsetning på 230 milliarder € i 2008 [ISTAG, 2012]. Den norske IKT-næringen sysselsetter mer enn 100 000 ansatte og står for om lag fem prosent av Norges fastlands-BNP [Maurseth et al, 2015] og en betydelig andel av dette er programvare. Programvare produseres for alle transportformer. Den inngår i produkter som leveres til kjøretøyene og båtene, samt i systemer for kjøretøy og båter. En bil kan i dag ha programvare som består totalt av mer enn 100 millioner kodelinjer [Technology Review (2012)]. I tillegg består transportinfrastrukturen og dens systemer av mye programvare.

Programvare brukes til å oppnå autonome systemer ved blant annet bruk av kunstig intelligens, bedre kartsystemer og bruk av sensordata. Programvare bidrar til å optimalisere gods- og persontransport, samt til å optimalisere flåtestyring og logistikk.

Ett eksempel på optimalisering av persontransport er at det utvikles infrastruktur for programvare på nett for transportnett som styrer etterspørsel av transport ved å koble passasjerer og bilførere via mobile applikasjoner. Dermed blir transporttjenestene lettere tilgjengelige for forbruker, noe vi også kommer til å se i det profesjonelle transportmarkedet.

3. Informasjons- og kommunikasjonsteknologi (IKT) nøkkelteknologier

3.1 Robotikk og automatisering

Robotteknologi har et stort potensiale for å påvirke våre liv i fremtiden ved å øke produktiviteten, øke servicenivået og skape nye arbeidsplasser i interaksjon med roboter [SPARC, 2014]. Det er roboter utenfor det man i dag ser av industrielle roboter som kommer til å drive frem denne utviklingen.

Markedsdriverne for fremtidens robotikk er identifisert som industrimarkedet, det profesjonelle servicemarkedet, hjemmemarkedet, sikkerhetsmarkedet og romvirksomhet. Disse markedene vil bli betjent av ulike typer roboter som arbeidsroboter, samarbeidsroboter, logistikkroboter, sikkerhetsroboter, inspeksjonsroboter og spill- og underholdningsroboter [EUROP, 2009].

I 2014 ble det solgt 200.000 nye industriroboter og det er nå installert 1.5 millioner slike roboter i verden. I snitt var det 58 industriroboter per 10.000 ansatte, mens Norge har kun 43 industriroboter per 10.000 ansatte [IFR, 2013]. Det skyldes nok i hovedsak at vi har liten grad av bilindustri og elektronikkproduksjon i Norge, som er de mest robotintensive industrisektorene. I bilindustrien er det et snitt på over 1.100 roboter per 10.000 ansatte på verdensbasis. I Norge har antall industriroboter stagnert på litt over 1.000 installerte enheter og antallet har vært stabilt i perioden 2006-2012 [IFR, 2013]. Det er med andre ord ingen trend som tilsier at dagens tradisjonelle roboter erstatter industriarbeidsplasser.

Nøkkelfaktorer for dagens industrielle robotikk er presisjon, repeterbarhet, pålitelighet, styrke, rekkevidde og slitestyrke. Dagens industriroboter er store, robuste, tunge og kapitalintensive. De er egnet for masseproduksjon av faste komponenter. Taktid er avgjørende for effektiviteten. Sikkerheten gjør at de må bures inn for å kunne brukes sikkert og mennesker har bare adgang til roboten når den er avslått. Dette fungerer bra for repetitive oppgaver på mekaniske deler. Dette er typisk en «statisk» tilstand der arbeid utføres på en spesifikk lokasjon og kun for noen få repetitive oppgaver. Det krever lang omstillingstid å lære roboten nye oppgaver fordi disse må omprogrammeres og det er liten grad av autonomi.

Tradisjonelle industriroboter blir i hovedsak brukt til mekanisk håndtering, sveising, sammenstilling, maling, pakking og palletering. Med en takt-tid som måles i sekunder tilsier det at disse i stor grad brukes til masseproduksjon, siden de brukes til operasjoner som kan gjentas millionvis av ganger.

Det kommer nå en **ny generasjon industriroboter** som skal kunne være mer mobile og samarbeide med mennesker for mer komplekse oppgaver, blant annet ved at de har lette og fleksible armer. Tanken er at mennesker skal gjøre det de er best på, mens arbeidet gjøres i samarbeid med roboter som har litt andre egenskaper i forhold til for eksempel repetitive oppgaver, hurtighet og farlige oppgaver. Sensorer integreres i roboten slik at interaksjon kan gjøres fleksibel og presis. Dette er et nytt tankesett med **menneskesentrert automatisering** hvor man bygger produksjonen rundt det mennesket kan bidra best med.

Nøkkelfaktorer for den nye generasjonen industriell robotikk er presisjon, mobilitet, kort omstillingstid, autonomi, pålitelighet, fleksibilitet og tilgang. Det er også et mål om å håndtere variasjon og fleksible materialer. Prisen på denne typen roboter synker fort slik at de blir stadig mindre kapitalintensive. Kunnskap om den nye generasjonen industriroboter er en viktig faktor for å sikre fremtidens konkurransekraft innen produksjon, konstruksjon og vedlikehold i Norge og Europa. Det er her mange av de nye arbeidsplassene sikres og skapes.

APPLICATION SCENARIOS ▶	ROBOTIC WORKERS	ROBOTIC CO-WORKERS	LOGISTICS ROBOTS	ROBOTS FOR SURVEILLANCE & INTERVENTION	ROBOTS FOR EXPLORATION & INSPECTION	EDUTAINMENT ROBOTS
SECTORS ▼						
INDUSTRIAL	■	■	■			
PROFESSIONAL SERVICE	■	■	■	■	■	■
DOMESTIC SERVICE		■	■	■		■
SECURITY		■	■	■	■	
SPACE	■	■	■		■	

Figur 4. Forventede anvendelser av ulike typer roboter i ulike typer bransjer [EUROP, 2009]

En ny generasjon hjemmeroboter er kommet på markedet. I hovedsak er det enkle roboter som støvsugere og gressklippere, men også vindusvaskere, bassengrensere, sportsroboter, selskapsroboter, kjæledyrhjelpere og menneskehjelpere. Også robotleker spiller en rolle for å utvikle sosiale roboter. Det ble solgt over 3 millioner hjemmeroboter i 2012 [IFR, 2013]. Dette er i dag enkle roboter uten store krav til effektivitet, men neste generasjon er ikke langt unna, og disse vil ha langt større påvirkning på arbeidslivet.

Neste trinn i utviklingen er serviceroboter som også har relativt enkle oppgaver, men innenfor det profesjonelle markedet. Dette kan være for eksempel transport og logistikk i kontor- eller korridormiljøer (som sykehus, arbeidsplasser og hoteller), boring/drilling, enkle inspeksjonsoppgaver på større anlegg, vedlikeholdsoppgaver, rehabiliteringsroboter på sykehjem/ sykehus og personlige hjelpere. Det var installert omtrent 125.000 profesjonelle serviceroboter i verden i 2012, men dette markedet er i sterk vekst [IFR2013]. Det er her robotene utfordrer arbeidslivet fordi man ennå ikke har tatt ut det samme potensialet innen automatisering og robotisering i andre bransjer enn industrien.

Serviceroboter brukes innenfor helt andre felt enn bare i industrien. I landbruket bruker man for eksempel stadig flere roboter, til alt fra automatisk melking av kuer til planting av radkulturer. Slike serviceroboter er en del av presisjonslandbruk hvor robotene også bruker GPS og satellittdata.

Roboter er viktige når det gjelder automatisering av transport. Spesielt gjelder dette inne i lagerbygninger hvor en kan laste, losse og hente/levere varer. I tillegg ligger muligheten der til å automatisere fra lager til hjem. Denne delen vil påvirke både utnyttelsen av veiarealet og energiforbruket, men bruk av autonome bilkonvoier ligger en del frem i tid [euRobotics aisbl, 2013].

3.2 Tingenes internett (Internet of things)

Det er flere viktige drivere bak utviklingen av tingenes internett. De siste 10 år har kostnaden på sensorer blitt halvert, vi har fått 40 ganger så mye båndbredde og 60 ganger så mye prosesseringskraft til samme kostnad

[GoldmanSachs, 2014]. Lavere effektforbruk og miniatyrisering av elektroniske kretser, samt økt virkningsgrad for batterier har også bidratt positivt.

I dag er det vanlig at systemene baserte på tingenes internett er sammensatt av såkalte innvevde systemer (*embedded systems*). Et innvevd system er et datasystem med en bestemt eller dedikert funksjon som er innvevd i et mekanisk eller elektrisk system og utgjør en integrert del av dette. Det er veldig vanlig å koble slike innvevde systemer sammen i et nett.

Typiske innvevde systemer vi omgir oss med daglig er kontrollsystemer i produkter, som for eksempel programstyring i en oppvaskmaskin, alarm i et sikringssystem eller antiskrenssystem (*Electronic Stability Programme, ESP*) i bilen.

Det er bare fantasien som begrenser hva vi kan koble sammen eller koble oss til. Eksempler kan være å avlese eller styre posisjon og bevegelsen til et objekt, måle temperatur og andre tilstandsparametere i et prosessanlegg, registrere lyd og vibrasjoner i et fly, overvåke gass og andre miljøfaktorer på en plattform, avdekke lekkasjer i rørsystemer. Denne typen løsninger er allerede godt integrert i enkelte av dagens systemer, og vi ser at denne typen løsninger også blir mer vanlig for alle varer og produkter.

En bil er allerede i dag et eksempel på et lokalt sensornettverk. Den inneholder mange nye sensorer, som akselerasjonssensorer (sikkerhet), trykksensorer (sikkerhet), temperatursensorer (setekomfort, motorfunksjon) og avstandssensorer (rygging, lukeparkering), koblet i nett sammen med funksjonalitet materialisert i form av ulike innvevde systemer. Bilen din er med andre ord et intelligent datanettverk med hjul og karosseri (og noe til). Kobler vi bilen til internett kan den også betraktes som et delsystem av et større IoT. Det er helt naturlig at bilen er tilknyttet internett og det er ingen futuristisk virkelighet; verkstedet ditt kan for eksempel analysere feil på stedet når du har trøbbel, bilen kan laste ned informasjon som du behøver når du kjører, om alt fra trafikale forhold og fremkommelighet, til overnatting, mat, severdigheter og opplevelser. Du kan også spore bilen om den blir stjålet.

IoT vil om få år være primærkilden for Big Data. Vi vil overalt være omgitt av sensorer og aktuatorer, og sensordataene vil bli digitalisert og delt med andre produkter/tjenester i nettet. Dermed kan man også kapitalisere og gjøre forretning av data som er samlet inn med IoT så lenge man har eierskap til data og man tar hensyn til de reguleringer om personvern og datasikkerhet som finnes. IoT vil være en nødvendig og viktig driver for en fremtidig dataøkonomi [McLellan, 2015].

Både fysiske og virtuelle "ting" vil ha identitet med henholdsvis fysiske egenskaper og virtuelle representasjoner. Datafangst vil være en del av livsløpet til den enkelte ting, blant annet for å kunne gjengi historikk eller data som kan aggregeres på et høyere nivå for å lære noe på tvers av tusentalls av enheter og være til nytte for mange. I store prosessanlegg vil IoT-applikasjoner ha sanntidstilgang til informasjon om virtuelle og fysiske prosesser og hendelser ved hjelp av smarte og koblede data.

Med IoT kan man tenke seg at både infrastruktur, deler og transportmiddel selv varsler sin tilstand, sin belastning og sitt vedlikeholdsbehov. Koblet til prediktiv analyse gir dette en mulighet for å få et mye mer kostnadseffektivt vedlikehold av alle deler av transportsystemene.

IoT egner seg særlig godt i kombinasjon med andre teknologier som Big Data og skytjenester for å skape kreative løsninger som igjen driver frem nye og mer bærekraftige forretningsmodeller. Vi sikter spesielt til transformasjoner som gir muligheter for vekst gjennom skifte fra investeringskostnader (CAPEX) til driftskostnader (OPEX) ved å leie og ikke kjøpe. Men det kan også være å øke produksjonen med samme antall ansatte og investering, eller å bedre reaksjonsevnen i skiftende markeder.

Denne typen løsninger har og vil påvirke hvordan virksomheter organiserer seg, for eksempel for å gi raskere og bedre respons på vedlikeholdsoppgaver overfor kunder, inkludert å samle verdifulle data gjennom kundekontakt, selvorganisering med spredte medarbeidere for å optimalisere prosesser og skape best mulig resultater. Gjennom å utnytte teknologi og data på denne måten kan vi oppnå langt mer fleksible og selv-navigerende organisasjoner til det beste for både ansatte og virksomheten.

Avanserte produkter eller installasjoner har gjerne digitale manualer og livsløpshistorikk over tilstandsutviklingen. Ved vedlikehold eller reparasjon av et slikt produkt eller installasjon hos en kunde får man lett tilgang til produktets konstruksjon, eventuelt hvilke feil som er oppstått hvor og hvilke belastninger produktet har vært utsatt for, og ikke minst hvilke verktøy som skal benyttes for å utføre de nødvendige vedlikeholdsoppgavene. Digitalisering og delvis automatisering av denne typen oppgaver for både å effektivisere og møte kundens forventninger er viktige for å kunne konkurrere i markedet.

Det er mange som har forsøkt å estimere det totale potensialet som ligger i IoT og illustrert ovenfor med noen eksempler, som f.eks. at IoT vil bidra med 1,7 billioner \$ til den globale økonomien i 2019 [Grennough, 2014]. Dette inkluderer maskin- og programvare, installasjonskostnader, samt tjenester rundt IoT løsninger. Det er store forretningsmuligheter for industrien om den lykkes i å skape IoT-infrastruktur og økosystemer som er attraktive for aktørene, og som skaper forretning for industrien og merverdi for brukerne.

Vi kan bruke IoT til å gå fra sentralt styrte systemer til systemer med langt mer distribuert kontroll. Dette skaper både muligheter og utfordringer. Muligheter ved at delsystemer og noder kan bli mer autonome, og at en feil et sted ikke nødvendigvis propagerer til andre deler av systemet slik vi ser ved mer sentralisert systemkontroll. Desentralisering kan være en egnet metode for å skape mindre sårbarhet for hele systemet. Men i den ligger også utfordringen ved at autonome delsystemer med desentralisert kontroll er krevende for å ivareta helheten, for eksempel overvåking av tilstanden i en hel verdikjede og sikre at verdikjeden er både pålitelig og robust der slike egenskaper er kritiske. Men for en bruker vil slike forskjeller i sentralisert eller desentralisert kontroll kunne utviskes gjennom IoT løsninger.

I intelligente transport systemer (ITS), med kjøretøy-til-kjøretøy (V2V) kommunikasjon og kollisjonskontroll er det best at kjøretøyene samhandler seg imellom for å unngå ulykker. Tilsvarende ser vi at for moderne stor-skala distribuerte kontrollsystemer for jernbane så sikres pålitelighet og robusthet i sann tid lokalt. I begge eksemplene vil det være livstruende om det er forsinkelse i dataoverføringene. En slik forsinkelse er noe sentraliserte systemer ofte lider under. Både for sjåførene av kjøretøyene og lokførere på togene er det påliteligheten og robustheten av systemet som er viktig og ikke hvor kontrollen utøves.

Forsyningskjedene i tradisjonell industri fokuserer på effektiv logistikk av varer. Nye IoT aktører vil i økende grad endre etablerte strukturer og relasjoner ved å utnytte potensialet som ligger i teknologien til digitalisering. For å konkurrere effektivt, må bedriftene transformere sin praksis og dermed sine forretningsmodeller og begynne å tenke i form av verdiskapende økosystemer.

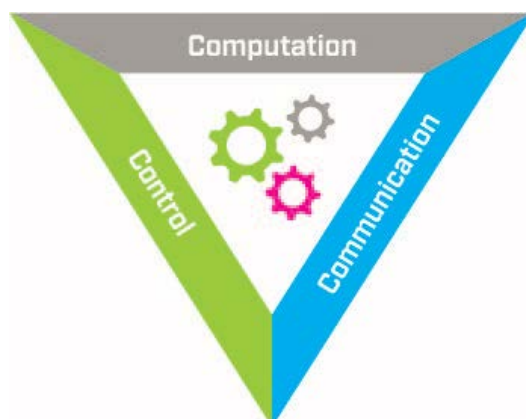
Et eksempel på transformert praksis er energiselskaper som ekspanderer fra kun å levere elektrisitet til også å levere bredbåndstjenester og aktivt søker å penetrere markedet for smarte hus og smarte samfunn. De transformerer virksomheten og forretningsmodell for å kunne ta del i verdikjeder som de tidligere ikke har deltatt i – antagelig i konkurranse eller samarbeid med aktører fra andre verdikjeder, for eksempel alarmselskaper, utstyrsleverandører og online underholdningstjenester.

3.2.1 Cyber-physical systemer

En verdiøkende variant av IoT er Cyber-Physical Systems (CPS), der målet er å koble den fysiske verden og den digitale verden, der innnevde systemer, sensorer, aktuatorer og nettverksteknologi er integrert, og gjør det mulig å overvåke og styre fysiske prosesser. Det åpner også for smart interaksjon mellom den fysiske og digitale verden, slik at for eksempel sensordata fra en fysisk prosess i neste omgang brukes til å forbedre simulerings- og styringsfunksjonen av den samme fysiske prosessen. CPS utnytter IoT som underliggende infrastruktur, og kobler i tillegg til denne infrastrukturen og den fysiske verden sammen med ulike applikasjoner [Vermesan, 2015], det kan for eksempel være digital og fysisk materialstyring i produksjonsbedrifter eller flåtestyring i spedisjonsbransjen.

Ett eksempel på anvendelse av CPS er å utstyre verktøy og maskiner i en fabrikk med sensorer som forteller hvilke arbeidsoperasjoner som er utført på hvilke deler av produktet, inkludert innsamling av data for angivelse om for eksempel belastning. Dette gir større kvalitet i produksjonen fordi man kan spore og sertifisere at alle nødvendige operasjoner er utført. Samtidig kan man også merke hvert enkelt produkt med informasjon om hvordan det skal sammenstilles slik at man får fleksibel individualisert produksjon.

Produktet kan ha instruksjoner om rekkefølgen på arbeidsoperasjoner, hvilke deler som skal brukes i denne varianten av produktet osv. Instruksjonene for sammenstilling av hvert enkelt produkt kan lastes opp til verktøy, maskiner og robot eller gjøres tilgjengelig for en arbeider for hver enkelt produserte enhet.



Figur 5. Cyber-physical systems

3.2.2 Internet of Things i avsidessliggende områder

IoT blir en svært viktig teknologi i fremtidens transportsystemer, både for operasjon av transportsystemet selv og for å implementere cyber-physical systems, økende automatisering og bedre datafangst.

Imidlertid er IoT avhengig av en kommunikasjonsinfrastruktur som kan skape den nødvendige sammenkoblingen mellom tingene. Dette realiseres ofte ved hjelp av offentlig telenett og 4G/5G/LTE er viktige elementer i dette. I områder som mangler infrastruktur (til havs, øde landområder) vil det være vanskelig å realisere IoT-baserte løsninger og man må vurdere alternative måter for å skaffe den nødvendige tilkoblingen. De kan være basert på satellitt, men dette er ofte kostbart og ikke alltid like enkelt, for eksempel i deler av Arktis hvor man ikke har geostasjonær satellitt-dekning. Kapasiteten på slike "sekundære" datalinjer er ofte også begrenset og gjerne kostbar.

3.3 Virtuell og forsterket virkelighet

Virtuell virkelighet (*Virtual reality*) har vært et begrep som har vært mye brukt siden 1990-tallet. Virtuell virkelighet er bygget opp av digitale modeller, og mennesket kan til dels sanse sine virtuelle omgivelser ved å se, høre, lukte og ta på digitale gjenstander ved hjelp av ulike elektroniske hjelpemidler. Slike systemer brukes i dag i hovedsak som brukergrensesnitt ved analyse av avanserte 3D-modeller (for eksempel geologiske strukturer) eller som rene simulatorer for eksempel til opplæring av vedlikeholdspersonell på avanserte installasjoner eller underholdning og spill.

Fremtidens komplekse arbeidsoperasjoner vil kreve at man lærer seg å samvirke med roboter og annet komplisert produksjonsutstyr. Her kan virtuell virkelighet og simulatorer spille en avgjørende rolle for at man i virkelighetstroe omgivelser kan trene på de komplekse arbeidsoppgavene og lære av sine feil uten at det får fatale konsekvenser. Norge har allerede i dag flere slike simulatorsentre, for eksempel for trening i krevende maritime operasjoner.

Man kan forestille seg at hele fabrikker finnes representert i en virtuell verden hvor man på forhånd kan simulere hele produksjonen og faktisk inspisere hvordan den skal foregå uten at man faktisk har startet den

fysiske produksjonen. Dette vil være særlig nyttig dersom man må omstille seg til nye produksjonsserier hyppig.

En avart av virtuell virkelighet er **forsterket virkelighet** (*Augmented reality - AR*) der formålet er å berike den faktiske virkelige verden, for eksempel ved å legge på informasjon som er relevant for omgivelsene man beveger seg i. Et eksempel på AR er spillet Pokémon GO. Et annet mulig eksempel er at man kan gi viktig informasjon til en vedlikeholdsarbeider om den delen vedkommende arbeider på akkurat nå.

Et enkelt eksempel på forsterket virkelighet er audioturer på museum, hvor man hører historiske lyder fra en svunnen tid. Et mer avansert eksempel er fjernstyrte kontrolltårn, der tårnet gjennom å motta signaler fra kamera, radar og andre sensorer får et totalbilde av luftrommet og flyplassen, der flygelederne kan legge inn automatisk sporing og utheving av objekter som beveger seg på bakken og i luften gjennom avansert visualisering.

Sterke markedskrefter som Facebook, Google og Sony jobber nå med å virkeliggjøre denne teknologien for forbrukermarkedet. Utfordringen i dag er knyttet til det å lage naturlige overganger mellom virkelighet og det forsterkende laget slik at dette ikke virker forstyrrende. Dessuten har det til nå vært vanskelig å bevege seg naturlig i en virtuell virkelighet uten at det virker forstyrrende på sansene, for eksempel har brilleteknologien til nå hatt for dårlig oppløsning og krever at man fokuserer på nær avstand, noe som er meget slitsomt og gjør at tiden man kan bruke denne typen løsninger er relativt kort. Det er også en utfordring å få til naturlig navigasjon i en virtuell verden.

En tredje utfordring med forsterket virkelighet er å få til en naturlig interaksjon med virtuelle gjenstander. Den virkelige verden må være meget godt synkronisert og kalibrert med den virtuelle delen av den forsterkede virkeligheten. På det nåværende stadiet er det vanskelig å forutse når vi vil få de første kvalitetsproduktene i forbruker/konsumentmarkedet, men dersom de kommer og fungerer bra vil de ha en stor påvirkning på mange verdikjeder.

Du velger å gå en tur i den virtuelle butikken for å se på klær. Du har allerede scannet inn en 3D modell av deg selv og kan nå prøve ulike klær på denne modellen av deg selv som butikken får tilgang til. Du kan dermed se hvordan klærne passer fra alle sider. Hvis buksene du prøvde var litt for korte for din smak, kan du lett be om en modell med litt lengre benlengde. Noen dager senere får du klærne som en pakke i posten. Hele verdikjeden rundt den fysiske butikken er endret. Nettbutikken har også etter hvert mye data om hvilke klær som selger og hvilke størrelser de skal produseres i og kan henvende seg direkte til forbruker med "skreddersydde" tilbud som passer denne forbrukerens virtuelle passform og preferanser.

3.4 Bruk av data

3.4.1 Big data analyse

Både økonomiske og sosiale aktiviteter har lenge vært avhengig av data for å kunne gi verdi. På de fleste områder blir nå disse aktivitetene digitalisert og lagret via internett. Dette skiftet medfører økt tilgang til ny

data og en drastisk økning av datamengden. Endringstakten av data er ofte i sann tid, svært mange dataformater og datakilder skal håndteres og ikke minst er det krevende å estimere usikkerheten i eller påliteligheten av data. Tradisjonelle teknikker for datahåndtering, analyse og visualisering hverken skalere eller strekker til. Det er disse utfordringen som Big Data Analytics forsøker å adressere for å skape verdi fra virkelig store mengder digitale data.

OECD påpeker i rapporten *Data-Driven Innovation, Big Data for Growth and Well-Being* [OECD, 2015] at både offentlige så vel som private virksomheter må ta innover seg mulighetene som data gir for endring til det bedre. EU kommisjonen ser for seg at vi er på vei over i en datadrevet økonomi [ECInsider, 2015].

Big Data kan karakteriseres langs fire ortogonale akser: datamengde (*volume*), endringstakt (*velocity*), mangfold av formater (*variety*) og pålitelighet (*veracity*). Siden mange virksomheter nå satser på Big Data teknologier er det også viktig at data gir verdi (*value*). Dette er de fem V`ene som er karakteristiske for å forstå feltet og hvilke utfordringer Big Data utgjør for den enkelte bruker eller virksomhet:

- *Volume*; Big Data er tradisjonelt store lagrede datamengder (*data in rest*), og i dag snakker vi om terabytes, petabytes, exabytes, osv. som er størrelser vi har vanskelig for å fatte omfanget av.
- *Velocity*; Endringstakten er viktig for mange nyere anvendelser, og omtales gjerne som *data in motion*, med betydelige datamengder per tidsenhet, ikke nødvendigvis bare i totalvolum.
- *Variety*; Big Data kommer i mange varianter og kan være heterogene av natur både i form av kilde, format og nødvendige transformasjoner av metadata. Det er relativt komplekst og utfordrende å harmonisere data av ulik opprinnelse og på ulikt format.
- *Veracity*; Big Data hviler også på det faktum at for å kunne gi verdi må man kunne fastslå i hvilken grad dataene er pålitelige; korrekte og presise, fullstendige og inngi tillit.
- *Value*; Big Data skal gi verdi for brukerne, og det er det viktigste overordnede målet med forskning og innovasjon på Big Data både på prosesser (verdikjeder) og teknologi.

Mange bedrifter vet lite om eller mangler helt kompetanse om hvordan denne typen data skal håndteres og bearbeides. Big Data og Big Data Analytics kan identifisere ny kunnskap og sammenhenger i dataene som det ikke ville vært mulig eller lett å finne i små statiske datamengder. Dette åpner nye muligheter. Med kompetanse og egnede verktøy kan bedrifter endre hvordan oppgaver og prosesser utføres. Det kan være å gå fra en mer tradisjonell prosess til å arbeide mer inkrementelt (trinnvis) og iterativt fordi en har raske tilbakeføringsløyper av data. I prosesser som er kritiske på tid, kost og kvalitet kan det være å foretrekke for å redusere risiko. Data kan også brukes langt mer aktivt og interaktivt i konstruksjon, for eksempel tilstandsdata fra maskiner som levetid, bruk, slitasje og vedlikeholdsbehov gir direkte kunnskap som kan benyttes i design av neste generasjon maskiner.

Nike Fuelband er et armbånd for registrering av treningsaktivitet som brukes sammen med en iPhone. Den samler inn data når brukeren jogger eller er i annen fysisk aktivitet og tillater lagring via skytjenester. Siden de treningsaktive er en spesifikk målgruppe for Nike som brand, kan Nike ut i fra metadata om denne gruppen sørge for produktplassering og spesifikk reklame rettet mot akkurat denne målgruppen. Utnyttelse av Big Data representerer meget betydelige verdiskapningsmuligheter, noe som kommer fram fra ulike analysemiljøers anslag i tabell 1.

Big Data handler om å gjøre datafangst langs hele verdikjeden og livsløpet for et produkt eller system slik at dataene er til nytte for andre. En slik tilnærming gir produsentene og leverandørene av produkter og systemer adgang til en større del av verdikjeden og de får kunnskap om bruken av produktet og miljøet det er plassert i. Denne kunnskapen vil kunne benyttes for å utvikle virksomheten og oppnå konkurransefortrinn gjennom følgende eksempler på transformasjoner:

- Kontinuerlig læring gjennom hele produktets levetid
- Nye måter for å samle inn forretningskritisk informasjon
- Bygge nye tjenester basert på data til nytte for kunden og brukeren
- Dra nytte av å kunne oppdatere programvare uten eller med sterkt redusert antall produksjonsstans
- Innføre sømløst vedlikehold basert på tilstandsdata i sann tid
- Kan gå fra å være produsent presset på pris og marginer, til systemleverandør av en tjeneste.

Tabell 1. Verdien av stordata. Hentet fra *European Big Data Value Partnership Strategic Research and Innovation Agenda*

Sectors/Domains	Big Data Value	Source
Public administration	EUR 150 billion to EUR 300 billion in new value (considering EU 23 larger governments)	OECD 2013
Healthcare and Social Care	EUR 90 billion considering only the reduction of national healthcare expenditure in EU	McKinsey Global Institute, 2011
Utilities	Reduce CO2 emissions by more than 2 gigatonnes, equivalent EUR 79 billion (global figure)	OECD, 2013
Transport and logistics	USD 500 billion in value worldwide in the form of time and fuel savings, or 380 megatonnes of CO2 emissions saved	OECD, 2013
Retail and Trade	60 % potential increase in retailers' operating margins possible with Big Data	McKinsey Global Institute, 2011
Geospatial	USD 800 billion in revenue to service providers and value to consumer and business end users	McKinsey Global Institute, 2011
Applications & Services	USD 51 billion worldwide directly associated to Big Data market (services and applications)	Various

Det krever relativt omfattende innsats for å kunne dra nytte av de voksende datamengdene i ulike formater og med usikker pålitelighet. Det er derfor et stort marked for metoder og verktøy som klarer å organisere dataene og trekke ut de viktigste delene av disse slik at de blir tilgjengelig i kompakt form, slik at man kan kjøre analyser på dataene for å trekke ut verdien, og ikke minst presentere eller visualisere denne verdien på en brukervennlig måte. Kjernen i det å kunne hente ut verdien av dataene ligger i å ha metoder og verktøy for å analysere og visualisere, det som omtales som Big Data Analytics (også kjent som *deep data analytics*). Dette omfatter metoder for semantisk analyse av data, validere pålitelighet og troverdighet av innhold, data og kilder, analyse av rammeverk og bedre statistiske og matematiske metoder og algoritmer (f. eks. innen maskinlæring) for prosessering av data med skalering av regnekraft for optimale beregninger og forretningsanalyse [BigData, 2014].

Det viktigste med disse analysemetodene er at de er meget kraftfulle verktøy for den som forstår å utnytte dem til å organisere og håndtere store mengder data. Det vil gi muligheter og fortrinn for de i næringslivet og arbeidslivet som klarer å trekke ut kunnskapen fra Big Data og forvandle kunnskapen til reell innsikt i hvordan forretningsmodeller, tjenester og verdikjeder kan organiseres. Apples talebaserte personlige assistent SIRI er

bygget på tilgang til store datamengder som prosesseres med nettopp deep learning (en gren av Machine Learning (maskinlæring) innen kunstig intelligens) [Jones, 2014].

3.4.2 Ikke så big data. Lavere volum og høyere kvalitet

Big data er som beskrevet over ofte karakterisert ved å ha stort volum ("Volume and Velocity") og relativt lav kvalitet ("Variety and Veracity"). Mye av endringene innen informasjonsteknologi (f. eks. bedre sensorer og bedre datakommunikasjon) vil også produsere data med høy kvalitet som gir helt andre muligheter til dataanalyse. Volumene her vil typisk bli betydelig mindre enn for Big Data, men fremdeles store nok til at konvensjonelle metoder for databehandling kan få problemer. Fordelen med denne typen data er at analyse kan baseres på deterministiske og fysiske modeller og at analyseresultatene blir av tilsvarende høyere kvalitet. Organisasjoner som har planlegging, skjema utvikling, ruteplanlegging og sekvenseringsproblemer gir ny høykvalitetsdata i sanntid nye muligheter og store effektiviseringsgevinster gjennom anvendelse av optimeringsmodeller og algoritmer. Løsningene fra slike metoder er veldig sensitive for kvaliteten på inndata.

Et enkelt eksempel på optimeringsmuligheter som nye kvalitative data kan gi er tester utført på Hamburg lufthavn [Kjenstad et al., 2013] Testene viste at om man har tilgang på data og bruker optimeringsmodeller og algoritmer som beslutningsstøtte kan man øke flyenes punktlighet med 60 %, redusere taxitiden med 30 % og redusere antall fly som er i bevegelse samtidig på taxebanen med 45 % sammenlignet med manuelle operasjoner uten beslutningsstøtte.

Høy datakvalitet kan også brukes til å bygge tillitsbaserte relasjoner mellom aktører i transportkjeden på en helt annen måte enn i dag. Et typisk problem i mange operasjoner er "split incentive", hvor den som betaler for effektivitetstiltak er en annen enn den som f r gevinsten. Bedre tilgang til pålitelige data om reelle kostander og forbedringer gir bedre mulighet til å bygge tillit mellom aktørene og kan gjøre det mulig å lage nye og bedre kontraktsformer. Dette kan bli et viktig bidrag til å effektivisere transportkjedene utover det som kan gjøres av enkeltaktørene alene.

3.4.3 Datatilgjengelighet og eierskap

Mange av de nye teknologiene vil levere mer og bedre kvalitet på informasjonen om systemene de brukes i. Dette er informasjon som har stor verdi for alle de involverte aktørene. Produsent av utstyr, integrator, operatør, vedlikehold, ytelse, kunde etc. I den private sektoren er problemet hvorvidt det er opphavet til dataene (transportmidlet), innsamleren av data (for eksempel port-registrering) eller andre som har eierskapet til data. Generelt gjelder at rådata ikke eies av noen, men at eieren eller operatøren av utstyret som samler data kan lage avtaler om hvem som får tilgang til eller kan bruke dataene. Dette skaper noen problemstillinger n r tredjepartakt rer utfører analyser, for eksempel på vegne av eier av utstyret og det ikke finnes avtaler om tilgang til dataene.

Dette gjelder også forholdet mellom offentlige og private. I hvilken grad skal data som det offentlige samler inn gjøres tilgjengelige for private aktører og på hvilket format? Et eksempel er AIS-data fra skip hvor Kystverket har både satellitter og basestasjoner langs kysten som samler inn seilingsdata som fartøy er lovpålagt å sende. Disse gjøres tilgjengelig i dag til tredjepart under visse vilkår [AISN, 2017]. Dette er data som har stor betydning for statiske analyser av skipstrafikk, ulykker og seilingsmønstre. Tilsvarende kunne man tenke seg andre typer trafikkdata bli gjort tilgjengelige fra andre etater. Kystverket og havnene har også skipsrapporteringsjenester for last, farlig gods med mer og her gjøres data kun tilgjengelig i aggregert form

gjennom statistisk sentralbyrå. Utfordringene med dette er blant annet om data er sensitive, både forretningsmessig og med hensyn på personvern. Det er også en utfordring at dataene samles inn med hjemmel i lov og at avsender av data ikke kan reservere seg mot bruken av data av tredje part.

Viktige problemstillinger blir da de følgende:

1. *Tilgang til data:* Er det mulig å få tilgang til data, eller er dette låst av leverandør- eller operatørstyrte systemer eller komponenter?
2. *Eierskap til data:* Hvem eier dataene? Kan tredjepart benytte data fra utstyret?
3. *Tillatelse til å distribuere data samlet inn fra andre:* Når er det tillatt å distribuere data som er samlet inn fra, for eksempel, passerende kjøretøy?

Det er allerede slått fast at dataene som blir gjort tilgjengelig fra fremtidens systemer vil ha stor verdi for alle, men det er ikke klart hvordan eierskap og tilgang kan sikres på rettferdige og effektive måter.

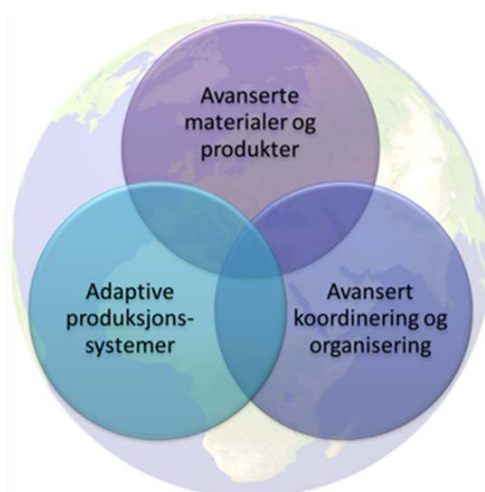
I forbindelse med "Industrie 4.0" har tyske aktører startet et initiativ for å lage en fleksibel og distribuert plattform for å håndtere tilgang og eierskap til data. Dette kalles "Industrial Data Space" [IDS 2017]. Hensikten med dette er å etablere standarder for teknologien og operasjonen av slike løsninger.

3.5 Fremtidens fabrikker

Konkurranseskraft er et integrert samspill mellom:

- **Avanserte materialer og produkter;** anvendelse og utnyttelse av muliggjørende nøkkelteknologier er kjernen i mange innovative og avanserte produkter. De er nyskapende i form av nye material-kombinasjoner (additive, kompositt, joining), kompetansetunge og har innebygde tjenester.
- **Adaptive produksjonssystemer:** Adaptiv og additiv produksjon; masseprodusert skreddersøm, engineering-to-order, avansert bruk av IKT, økt digitalisert og visualisert informasjon og kommunikasjon, automatisert og robotisert .
- **Avansert koordinering og organisering:** Menneskesentrerte arbeidssystemer, fleksibilitet, medarbeiderdrevet innovasjon, helhetlig, ansvarlig og fokusert på grensesnittet mellom manuelle operasjoner og automatisering, smart organisering som evner å utnytte produksjonsteknologiene.

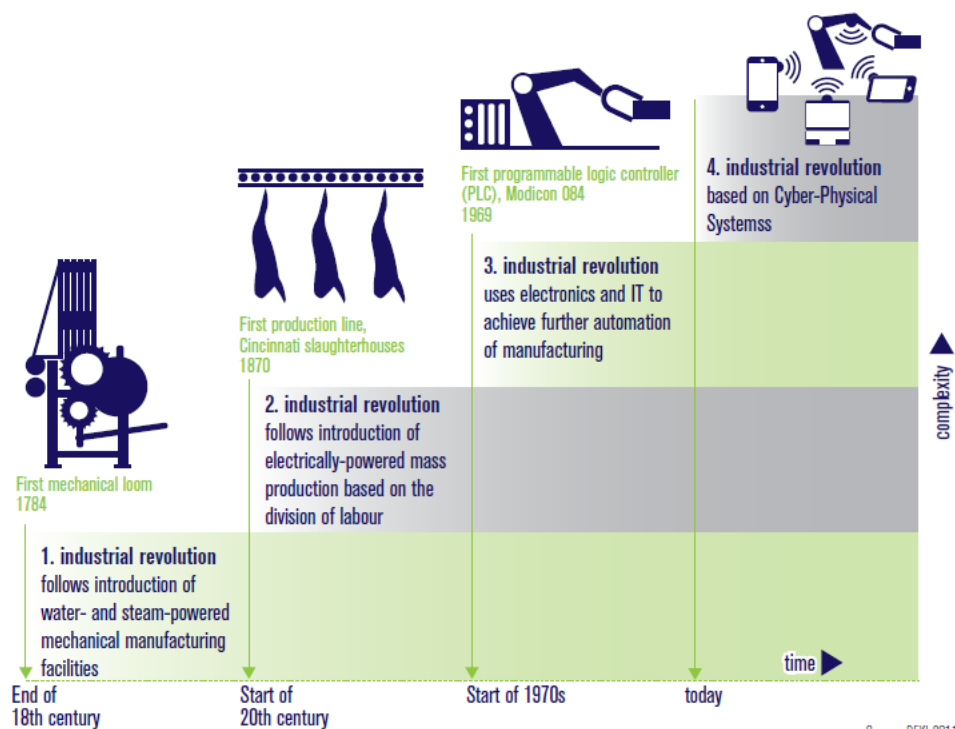
Fremtidig konkurranseskraft ligger i evnen til å utnytte teknologien og det teknologiske systemet gjennom et avansert samspill mellom individuell og teambasert kunnskap, teknologi og ledelse.



Figur 6. Konkurransen som et integrert samspill [Carlin et al., 2015].

I Tysklands nasjonale høyteknologistrategi kalles det nye paradigmet Industrie 4.0 [Industrie, 2014]. Det er tuftet på Cyber-Physical Systems bygget på toppen av Embedded Systems teknologi, men også en sterk kobling mellom mennesker og maskiner i produksjon slik at man kan takle den kompleksiteten og fleksibiliteten som er nødvendig i fremtidig produksjon hvor endringshastigheten og omstillingsevnen må øke.

Figure 1:
The four stages of
the Industrial Revolution



Industrie 4.0

Figur 7. Industrie 4.0 [Industrie, 2014]

Også USA, EU og land som Nederland (Smart Industry) og Sverige (Made in Sweden 2030) har utarbeidet sine manufacturing-strategier som setter tydelig retning og gir klare anbefalinger. Felles for disse satsingene og strategiene er at de i høy grad er knyttet til sterke globale endringer og trender.

Vi står overfor en ny bølge med industri og et viktig spørsmål blir hvordan fremtidens fabrikk vil se ut. Vi ser for oss:

- Adaptiv og smart produksjon
- Avanserte produksjonsprosesser
- Digitale virtuelle fabrikker – modeller for hele fabrikken og vareflyten
- Ressurseffektivitet og materialutnyttelse i fokus
- Nettverk med fleksible produksjonsenheter
- Miljøvennlig produksjon
- Menneskeorientert produksjon
- Kundefokusert produksjon
- Distribuert produksjon

Til tross for avanserte tekniske beskrivelser av produkter, prosesser og planer for økonomisk verdiskaping, er utfordringen ofte at høyteknologiske bedrifter legger for lite vekt på den konkurransekraften som arbeidsstyrken og organiseringen utgjør. Bedriftene står fortsatt overfor store utfordringer i sine anstrengelser med gjensidig å utvikle det teknologiske systemet og de menneskelige ressursene i organisasjonen. De nye operatørrollene og deres samhandling vil kreve nye former for interaksjon mellom mennesker og maskiner. Evnen til å betjene komplekse produksjonssystemer er i dag ikke proporsjonal med mengden tilgjengelig informasjon. En mindre arbeidsintensiv produksjon er en forutsetning for lønnsom vareproduksjon i høykostland. Det er derfor viktig å tilgjengeliggjøre informasjon for arbeideren slik at denne er i stand til å tilpasse seg stadig nye produkter, oppgaver og prosesser, samt innhente informasjon fra arbeideren og prosesser slik at man kontinuerlig forbedrer seg.

Gjennom avansert fabrikkasjon og evnen til å utnytte muliggjørende teknologier vil fremtiden ligge i det vi betegner som **smart fabrikk**. I et integrert samspill må elementene i smart fabrikk ha evne til kontinuerlig utvikling og omstilling, og i tillegg skape tverrfaglige rom som øker innovasjonstakten.

Et meget godt eksempel på en vellykket transformasjon er Siemens fabrikk for elektronikkproduksjon i Amberg, der det produseres "Programmable logic controls (PLC'er)", som er styringssystemer for alt fra fabrikkprosesser til skiheiser og cruiseskip [Siemens, 2015]. Gjennom å utnytte mulighetene til avansert kommunikasjon mellom produkt, produksjonsutstyr og kontrollsystemer i fabrikken er nå 75 % av verdikjeden håndtert av maskiner og datamaskiner. Produksjonen er åttedoblet og produksjonskvaliteten er 99,9988 %. Denne transformasjonen er gjennomført uten tap av arbeidskraft. Antallet ansatte er det samme som før endringen, men arbeidstakernes rolle er nå i hovedsak knyttet til løpende forbedring og kontroll av prosessen, fremfor å utføre produksjonsoppgaver.



Figur 8. Tradisjonelle industriroboter er buret inn for sikkerhet, mens de nye industrirobotene tillater samarbeid med mennesker (Foto: SINTEF)

Overgangen fra masseproduksjon til fleksibel masseproduksjon pågår nå. Det neste steget er distribuert fleksibel masseproduksjon. 3D-printing og nye typer roboter med høyere grad av autonomi er en del av denne revolusjonen. 3D-printere og roboter er generelt produksjonsutstyr som kan produsere mange ulike produkter med kort omstillingstid mellom hvert produkt. Dette tillater forretningsmodeller hvor man selger produksjonsutstyr og råvarer og digitalt distribuerer produktdesign og produksjonsinstruksjoner. For transportbransjen kan dette bety en endring fra å forflytte ferdigvarer med langtransport til at langtransport i større grad handler om å distribuere råvarer, mens nærtransport inkluderer ferdigvarer fra lokale produksjonssteder. Nærtransport kan for lette produkter gjøres med droner.

3.6 3D-printing

3.6.1 3D-printing og lagvis produksjon

3D-printing er en datastyrt prosess hvor man fra en råvare i form av tråd, pulver eller væske lagvis skriver ut et 3-dimensjonalt produkt. 3D-printing er fremst et verktøy for rask design og "rapid prototyping" for produktdesignere, men gjør nå sitt inntog i fleksibel, distribuert produksjonsform.



Figur 9. Med 3D-printing bygger man opp et produkt lagvis fra bunnen av.

Målet på sikt er at slikt utstyr skal gi bedre kvalitet og mer fleksibel produksjon til en lavere initialkostnad. Produksjonen kan flyttes fra store sentrale fabrikker til lokale verksteder og videre inn i de tusen hjem. Dette endrer vareflyten ved at produksjon flyttes nærmere konsumentene og åpner et stort marked for tjenester rundt produksjon, samtidig som transportetterspørselen blir endret.

3D-printing og andre fleksible produksjonsmetoder kan i større grad enn i dag muliggjøre konsepter for produksjon i container. En kan for eksempel flytte produksjonen nær forbruker og oppnå en mye større grad av distribuert produksjon, kanskje også i områder hvor det ikke er tilstrekkelig infrastruktur for å utføre produksjon i dag.

Dersom en bedrift i dag trenger en spesialtilpasset plastdel til småserieproduksjon, så kan de lete i en katalog etter en del som passer deres spesifikasjoner og må sannsynligvis akseptere at denne ikke helt stemmer med de formfaktorene de skulle ønsket. Det kan være lang bestillingstid på delen fra et lager. Alternativet er å lage en dyr støpeform og produsere en spesialtilpasset plastdel som har akkurat den formfaktoren bedriften ønsket. Dette er ofte både tid- og kapitalkrevende, men delen kan tilpasses perfekt til produktet.

Sterke kommersielle krefter jobber i dag med å utvikle 3D-printere for forbrukerne og allerede i dag kan man kjøpe en 3D-printer til under 10.000 kroner i elektrobutikker. Med billige 3D-printere og relativt dyre materialpatroner til bruk i 3D-printerne gjør en det slik at den som lager selve 3D-printeren får faste fremtidige inntekter fra salg av materialene. Ved å legge til 3D-scanning med høy nøyaktighet vil man også kunne lage 3D-kopimaskiner. Med 3D-printing kan bedriften selv skrive ut det antallet deler de trenger til sin produksjon på en 3D-printer hos en tjenesteyter i nærheten. De kan teste ut formfaktor og brukervennlighet hos sine sluttbrukere og gjøre raske iterasjoner på design. Hvis det senere viser seg at de må tilpasse samme produkt til en ny kunde som har litt andre krav til formfaktor, er det gjort i løpet av noen få timer å få frem en ny del. Bedriften slipper nye kapitalkostnader til et nytt støpeverktøy og kunden blir fornøyd. Det eneste som skal til for at dette scenarioet er gyldig er at kvaliteten på 3D-printing blir god nok.

I dag tar mange bilprodusenter ut en ekstra gevinst i ettermarkedet ved at de har kontroll på originaldeler som trengs som reservedeler til bilen. Verkstedet er derfor prisgitt deler fra produsenten. Deler som ikke er sikkerhetskritiske vil nok ganske snart bli produsert on-demand ved at verkstedet har en 3D-printer som produserer disse delene on-demand. Slik kan man spare store kostnader på lagerhold og frakt da delene kan produseres på stedet. Kunden får en raskere reparasjon siden man ikke må forhåndsbestille deler.

3.6.2 3D-printing og transportbehov

Betydningen av 3D-printing for transport er avhengig av produkttype, transportregion og antagelig andre faktorer:

- 3D-printing kan brukes til brukertilpasning av produkter. Dette kan endre transportretninger (hvilken vei varen går) men ikke nødvendigvis transportbehov.
- Internasjonal råvaretransport må uansett foregå mye på samme måte som i dag og dette er den store brorparten av internasjonale transportmengder.
- 3D-printing får større betydning på mer lokale transportmønstre, regionalt, nasjonalt og mellom nærliggende land.

- Store bygnings- og konstruksjonselementer kan allerede nå 3D-printes. Allikevel må man vanligvis transportere råvarene.
- 3D-printing kan få stor betydning for sirkulærøkonomien ved, for eksempel, å lage reservedeler eller reparere enheter som ellers ville bli kastet. Dette kan få betydelig innflytelse på transportbehov.

3.6.3 3D-printing og lagvis produksjon

3D-printere for plastmaterialer er en teknologi for lagvis produksjon. **Lagvis produksjon** skjer ved at man legger lag på lag av et eller flere materialer for å bygge opp et produkt fra bunnen av. Dette gjøres allerede i dag med **keramer, kompositter og metaller** med mange ulike produksjonsmetoder. Dette er et **paradigmeskifte** da man ikke fjerner materiale for å bygge produktet, slik som for eksempel ved tradisjonell fresing. Hovedfordelen med lagvis produksjon av metaller er igjen den fleksibiliteten man har med produksjonsutstyret. Man har generelt produksjonsutstyr for mange geometrisk ulike produkter på samme måte som med CNC-maskiner¹, men med en mye høyere materialutnyttelsesgrad. Dermed oppnår man mer miljøvennlig produksjon.

Lagvis produksjon åpner også for produksjon av mer **kompliserte geometrier** for å gjøre produkter lettere eller for å gi produktet andre egenskapet som for eksempel bedre støtabsorpsjon eller kjøleledningsevne. I tillegg åpner lagvis produksjon for at man legger inn ny funksjonalitet for eksempel i kompositt-materialer eller ved integrasjon av sensorer. Dette er spesialisert produksjon hvor kunden kan være villig til å betale mer for produktet på grunn av ekstra funksjonalitet. Her har Norge et fortrinn med sin gode kompetanse på både komposittmaterialer og metallurgi. Det er trolig kostbare metaller som titan og/eller formbare metaller som aluminium som berøres først. Et viktig argument kan være redusert lagerhold av store og tunge verktøy, samt den fleksibiliteten som tilbys i produksjonen. Det er viktig å forstå at lagvis produksjon ikke vil erstatte storskala automatisert masseproduksjon da man ikke kan konkurrere på pris og kvalitet i massemarked.

- Lagvis produksjon tillater fleksibel småskalaproduksjon til en lavere kapitalkostnad.
- Rask omstillingstakt tillater fleksibel produksjon.
- Kan produsere mange flere varianter av et produkt med samme maskin.
- Produkter med større kompleksitet og ny funksjonalitet.

3.7 Autonomi

Autonomi vil i økende grad dominere transportbransjen så vel som resten av samfunnet, og autonomi og automatisering har allerede gjort et betydelig inntog. Fordelene med autonomi er i hovedsak av to typer:

- Autonomi kan i noen sammenhenger omhandle å trekke informasjon ut av data og slutninger ut fra informasjon (bl.a. dataanalyse og beslutningsstøtte). Systemer kan i dag for eksempel identifisere mennesker fra bilde/video, forstå hva et menneske gjør i et bilde, oversette fra tale til tekst og oversette tekst fra et språk til et annet. Autonomi i beslutningsstøtte vil kunne hjelpe operatører av fartøy og personell i overvåkningssentraler med å identifisere hendelser som har skjedd og forutsi mulige fremtidige hendelser.
- Autonomi kan i andre sammenhenger omhandle et større systemperspektiv med autonome fartøy og roboter som skal kunne operere effektivt og naturlig i sine omgivelser uten at de trenger en

¹ Computer Numerical Control maskiner - datamaskiner som styrer andre maskiner, som for eksempel fresemaskiner

menneskelig fører om bord. Dette vil kreve samme type sensorer og beslutningstøtte teknologi som nevnt i første punkt, men vil stille mye høyere krav til pålitelighet og sikker operasjon.

En forutsetning for økt autonomi er en konvergens mellom teknologitrender innen billige sensorer som sanser omgivelsene nøyaktig nok, tilgjengelig minne og datakraft, menneske-maskin-interaksjon (MMI), samt nye algoritmer og kunstig intelligens som har evne til å forstå omgivelsene og trekke distribuerte slutninger og ta avgjørelser lokalt.

"Autonom/automatisert/selvkjørende fartøy"- Selv om enkelte argumenterer for forskjeller mellom f.eks. begrepene "autonomi" og "automatisering" så brukes begrepene ofte litt om hverandre i mange sammenhenger, bl.a. i [Parasuraman et al, 2000] som er svært ofte sitert i forbindelse med autonomi og automatisering. Vi har også valgt sistnevnte tilnærming i denne rapporten. Graden av autonomi i et fartøy kan variere fra at fartøyet trenger tett oppfølging/styring av et menneske til at fartøyet kan operere uten menneskelig intervensjon. En slik skala for autonomi/automatisering er bl.a. presentert i [Parasuraman et al, 2000]. Slike automatiseringsskalaer er til forveksling lik inndelingen som brukes for selvkjørende biler – f.eks. i lovutkastet til den norske loven om utprøving av selvkjørende kjøretøyer. Autonome fartøyer kan gjerne samarbeide og kommunisere med andre fartøyer for å løse en oppgave. Et eksempel er selvkjørende biler som kan kommunisere med omverdenen og passasjer ved behov, men som også kan utføre oppgaver uten å kreve detaljstyring. Disse overnevnte likhetene mellom autonome fartøyer generelt og selvkjørende biler gjør at vi i denne rapporten bruker begrepene autonom/automatisert/selvkjørende fartøy om hverandre.

Hovedgevinsten ved generell autonomi er vanligvis påstått å være mer effektiv og sikrere drift gjennom økt automatisering, færre feil, raskere og/eller mer energieffektive operasjoner og reduksjon av kjedelige eller krevende deler av arbeidsoppgavene for operatørene. Dette er i hovedtrekk det samme som man gjennom mange år har fått fra mer generell automatisering og kan sees på som en inkrementell utvikling av arbeidsprosessene.

I enkelte sammenhenger brukes ordet "autonom" for å indikere at man har med et ubemannet system å gjøre (f.eks. en båt eller bil uten fører), mens i andre sammenhenger kan betegnelsen "autonomt ubemannet system" gjenspeile at det ubemannete systemet har evnen til å kunne operere på egen hånd uten å trenge en operatør som kan fjernstyre systemet eller at det trenger å være forhåndsprogrammert til å kun være i stand til å håndtere helt spesifikke situasjoner. Ubemannete systemer gir interessante muligheter og generelt kan man argumentere for at de viktigste fordelene med ubemannede systemer er:

- *Energisparing*, blant annet ved at man ikke trenger å flytte på fører sammen med lasten og man kan fjerne deler av kjøretøyet som kun har med sikkerhet og behagelig opphold for fører. For noen anvendelser vil dette også gjøre det enklere å bruke batteri, hydrogen eller andre "rene" energikilder.
- *Økonomi* ved at man slipper å betale fører. Dette gjelder spesielt ved ubekvem arbeidstid eller når operasjonen ellers ville gitt mye dødtid i forhold til utført transportarbeid.
- *Sikkerhet og arbeidsmiljø* ved at man ikke utsetter fører for utrygge eller ubehagelige arbeidssituasjoner.
- *Nye typer transportsystem* ved at kjøretøy og støttesystemer kan utformes fullstendig annerledes enn i dag.

- *Skalerbarhet* av forretningsmodeller som i dag er begrenset av tilgang eller kostnaden ved å ha en fører.

Det er imidlertid også utfordringer ved autonomi som ikke alltid gjør det enkelt å realisere disse fordelene, men i det følgende vil vi fokusere på mulighetene som autonomi gir i form av muligheten for å lage ubemannede farkoster.

Autonome fartøyer kan vi forvente vil utføre et økende antall oppgaver. Allerede i dag eksisterer det biler og busser i testfase som under gitte vær- og føreforhold, samt med krav til veimerking, kan kjøre autonomt over lengre strekninger. Teknologien som muliggjør dette brukes allerede kommersielt som førerstøtte ved at personbiler kan automatisk detektere hindringer, automatisk følge veibanen, osv.

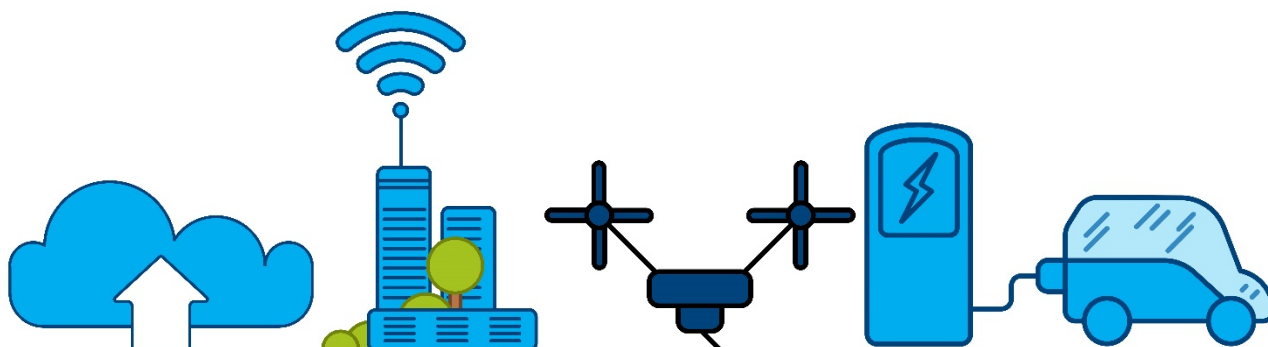
I tillegg til selvkjørende biler og busser så vil langtransport kunne gjøres bl.a. mer energieffektiv og kostnadseffektiv ved at flere lastebiler kan kjøre tettere inntil hverandre ("platooning"). Det er allerede gjort tester med dette hvor lastebiler har kjørt på enkelte deler av strekning fra Sverige til Nederland, men bilene hadde alltid en fører klar til å ta over kontrollen.

Autonome systemer vil kunne bidra på terminalanlegg med bl.a. å flytte gods mellom transportfartøyer ved at gaffeltrucker og andre typer logistikkfartøyer blir autonome. Allerede i dag finnes mobile roboter som frakter last rundt på f.eks. sykehus.

Autonomi kan stille helt nye krav til infrastruktur, f.eks. til kommunikasjonsløsninger i nærheten av veibane og i tunneller. En viktig forutsetning for autonom transport er evnen til å sanse omgivelsene langt nok foran kjøretøy til at man kan ta avgjørelser i tide. Droner som kjører foran båter og tog kan gjøre nettopp denne oppgaven og gi utvidede sanser rundt svinger eller over synshorisonten.

Autonomi handler også mye om regelverk, lovgivning og aksept i samfunnet. Alle disse aspektene må utvikles for og i større grad kunne ta i bruk autonome systemer. Norsk Forening for Autonome Skip (NFAS) er et eksempel på et initiativ som er med på å adressere disse aspektene ved at foreningen har som mål å styrke samarbeidet mellom brukere, fagmiljø, myndigheter og andre organisasjoner og personer som har interesser innen autonome skip. Økt grad av autonomi og økt bruk av autonome systemer skjer gradvis som følge av en kombinasjon av blant annet teknologiutvikling, aksept i samfunnet, og muligheter i gjeldende lovverk og reguleringer. I første omgang ser vi allerede i dag autonome farkoster i avgrensede områder (f.eks. transportroboter på sykehus), under avgrensede forhold (f.eks. ikke autonom kjøring i tett snøvær) og avgrenset autonomifunksjonalitet på biler (f.eks. "lane keeping"). Etter hvert vil vi se autonome transportsystemer som kan håndtere økt grad av kompleksitet i miljøet som fartøyet befinner seg i (f.eks. tett trafikkert vei med dårlig veimerking) og økt grad av kompleksitet i oppdraget som skal utføres. I tillegg vil autonome transportsystemer kunne operere i større grad i situasjoner hvor det ikke er mulig å ha menneskelig inngripen som en "nødløsning" ved behov.

Mer om autonomi knyttet til anvendelser innen transport kommer i senere, bl.a. kapittel 4.2.

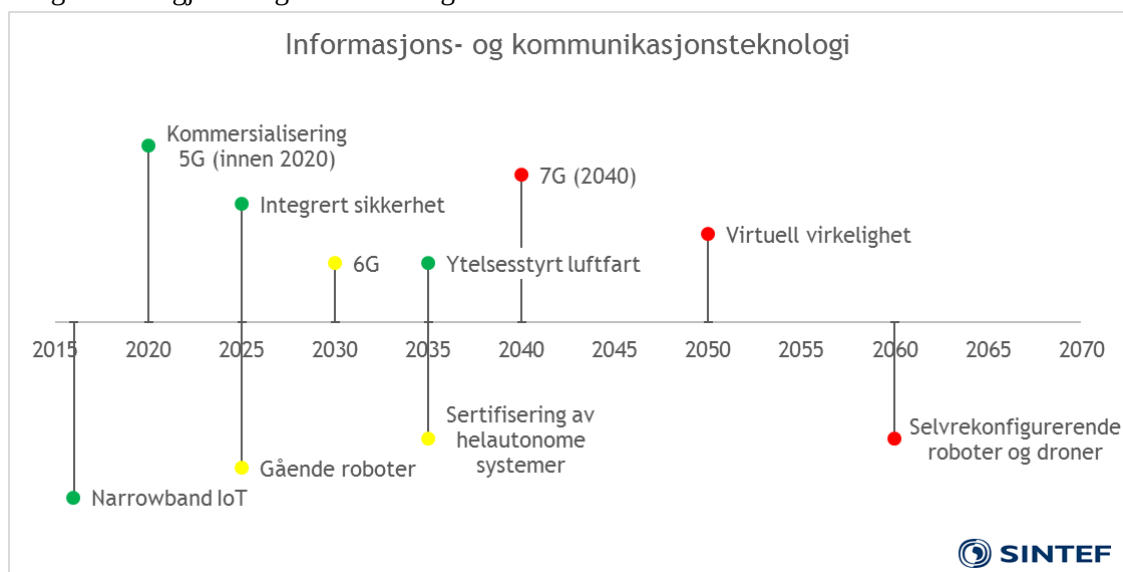


DEL 2: TEKNOLOGITRENDER I TRANSPORTSEKTOREN

Denne delen av rapporten gjør rede for trender innen teknologi som er forventet å kunne påvirke transportsektoren. Teknologiene som presenteres i det følgende er kategorisert i henhold til strukturen presentert i kapittel 1.6. Hvert kapittel vil innlede med en overordnet beskrivelse av hvilke deler av transportsystemet som beskrives, og en tidslinje som angir når ulike teknologier er forventet å være klare til bruk. Her er det viktig å bemerke at tidsvurderingene som ligger til grunn er optimistiske, og tar utgangspunkt i antatt tidligste bruk. Fargene på kulepunktene som markerer hver enkelt teknologi indikerer videre med hvor stor sikkerhet tidsvurderingen er gjort. Røde punkter indikerer vurderinger med liten sikkerhet, gule punkter indikerer middels sikkerhet, og grønne punkter indikerer høy sikkerhet. Svart punkt mangler sikkerhetsvurdering av tidsangivelsen.

4 Informasjons- og kommunikasjonsteknologi (IKT) i transportsektoren

Dette vil kanskje være den gruppen teknologi som i størst grad vil påvirke fremtidig transport av personer og gods. Mye av utviklingen på dette området er beskrevet i kapittel 3, men vil i dette kapittelet presenteres med tanke på mulig anvendelse i transportsystemet. Mange av teknologitrendene beskrevet over kan sammen og hver for seg bidra til gjennomgående endringer.



Figur 10. Forventet tidslinje for utvalgte teknologier innen IKT

4.1 Automatisering: muliggjørende teknologier

Det foregår en rivende utvikling innen automatisering av transportsystemet. Denne utviklingen foregår i alle transportmodi. Luftfarten har lenge beveget seg mot høyere automatiseringsnivå med f.eks. autopilot og landingssystemer. I den senere tid har automatisering breddt om seg innen de andre transportformer også.

EU-kommisjonen har et initiativ innen "Strategic Transport Research and Innovation Agenda" (STRIA) hvor begrepet "Connected and Automated Transport" (CAT) har vært brukt. En arbeidsgruppe fra alle transportmodi jobbet frem en rapport om temaet som foreløpig ikke har blitt publisert. En del felles utfordringer på tvers av transportformene ble identifisert:

- Cyber security blir mer og mer viktig med økende automatisering og tilhørende avhengighet av utveksling av informasjon. Beskyttelse av private data er også en økende bekymring siden mye mer geolokalisert informasjon om brukerne blir tilgjengelig.
- Større behov for å tenke på integrasjon av modi og for å løse problemene knyttet til "last mile" transport mellom terminaler og sluttbruker. Her blir bruk av big-data teknikker for å bedre forstå hvordan modiene skal integreres viktig.
- Knyttet til dette er også integrasjon i logistikkjeder. Slik integrasjon øker generelt og vil være viktig for å redusere energibruk og utslipp fra transportsektoren.
- Sentralt i integrasjon er automatisering i terminalene. Lasthåndtering er en stor kostnadsfaktor i integrerte transportsystem.
- CAT kan også bidra til å øke transportsystemenes evne til å motstå forstyrrelser fra ulykker, naturkrefter eller fiendtlige angrep.
- Autonomi er i økende bruk og det er behov for å se på regelverk og akseptansekriteria for bruk av slik teknologi. Spesielt blir det viktig å definere ansvarsforholdet for produsenter og brukere av autonome transportmidler.
- Internet of Things i avsidesliggende strøk: IoT er av økende viktighet, men teknologien som støtter dette er ikke alltid tilgjengelig i strøk med dårlig dekning i offentlige telenett. Det gjelder på sjø og i avsidesliggende områder på land. Arktis er et spesielt krevende område i så henseende på grunn av dårlig dekning også av satellitt-kommunikasjon.

I 2016 ble Trondheimsfjorden etablert som verdens første testarena for automatisert skipsfart. Innen jernbanetransport har ERTMS gjort sitt inntog. Det er flere grunner til at automatiseringen innen transport har skutt fart de siste årene, og i det følgende gjøres det rede for teknologiutvikling som muliggjør automatisering.

4.1.1 Automatisert logistikk

Digitalisering, automatisering og generelt "connected and automated transport" omfatter også måten logistikkjedene fungerer. Dette muliggjør mer fleksible transportsystemer som tilpasser transportmidlene som brukes til oppgavene som foreligger, for eksempel "transport on demand". Man kan også endre ansvarsforholdet mellom de forskjellige aktørene, for eksempel kan terminaler og havner ta et større ansvar for "last mile" transporten ved hjelp av autonome kjøretøy og skip.

Dette vil kreve en del endringer i regelverket og konvensjonene for internasjonal trafikk og mer oppmerksomhet på ansvarsforholdene mellom aktørene. For å få til det må man også etablere digitalisert og

automatisk informasjonsutveksling mellom aktørene som også vil kreve økt tillit og bedre autentisering av elektroniske data. Her vil blockchain og annen mer konvensjonell cybersecurity teknologi spille en stor rolle, spesielt for internasjonal transport.

Det gjøres også forsøk på bruk av bitcoin og tilsvarende teknologi for betalingsformidling i internasjonale transportkjeder [CCFS, 2017].

4.1.2 Informasjonsteknologi

Sensorer blir mindre og bedre for hver iterasjon. Sensorer som tidligere krevde dedikert transportmiddel og egne bygninger for henholdsvis transport og plassering kan nå festes på en bil eller er ikke større enn at de kan bæres i lomma. Eksempler på dette er luftsensorer som måler luftkvalitet i byer. Likevel er det prisen på sensorer som har vært den største driveren for at sensortettheten i transportnettverket er betydelig høyere nå enn for noen år siden. Dette gjør at man har en helt annen informasjonstilgang fra transportsystemet og at kommunikasjon internt i og mellom transportsystemer er mulig.

Basert på utviklingen innen sensorteknologi kan disse utnyttes på nye måter og nye områder gjennom **programvareutvikling** for stadig nye applikasjonsområder.

Utviklingen av tingenes internett (IoT) (se kapittel 3.1.1) henger sammen med at sensorer blir mindre og billigere. Dette gjør at stadig flere enheter utstyres med sensorteknologi, også innen transportområdet. Alt fra infrastruktur, via transportenheter til gods og mennesker utstyres med sensorteknologi som til enhver tid kommuniserer.

Dette resulterer i stadig økende mengder informasjon og data. Derfor blir metoder for å prosessere denne informasjonen stadig viktigere og en følge av denne utviklingen. Regnekraften innen IKT-industrien utvikles i stort tempo, noe som både er en driver men også en følge av stadig større datamengder. Dette er en viktig muliggjør for samvirkende ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems) hvor transportsystemet knyttes sammen gjennom kommunikasjon. Dette inkluderer kontinuerlig kommunikasjon mellom kjøretøy i trafikken, og mellom kjøretøy og infrastruktur.

4.1.3 Kommunikasjonsteknologi

Kommunikasjon fordrer operative trådbundne og/eller trådløse systemer. Informasjon mellom faste noder kan overføres både trådbundet og trådløst, mens mobile noder impliserer trådløs overføring av informasjon. Moderne kommunikasjonsløsninger baserer seg i økende grad på trådløse teknologier, og det er også her vi ser størst potensiale med hensyn på fremtidig innovasjon og muligheter til å påvirke transportsektoren.

Antall trådløse enheter som kobles på nett er sterkt økende. Behovet for mengden data som overføres er noe varierende, men innenfor enkelte segmenter er kravet til båndbredde stort og økende. Dette er trender som vi mener vil vedvare både på mellomlang og lang sikt. Nye teknologiske løsninger muliggjør utnyttelse av nye frekvensbånd, overgangen til digital signaloverføring og nye modulasjonsmetoder utnytter frekvensbåndet bedre og vil gi plass til nye tjenester. Samtidig fordrer dette en fornuftig forvaltning av de ulike frekvensbånd.

Utbudet av trådløse nettverksteknologier og standarder er stort, mangfoldig og til dels uoversiktlig, alle med sine styrker og svakheter. Teknologiene baserer seg på både åpne og proprietære standarder og er tilpasset forskjellige behov, med hensyn på tale, data, frekvensområde, rekkevidde, hastighet/båndbredde, etc. Dagens og fremtidige standarder må kunne leve side om side både i separate og samvirkende systemer. En forenklet,

men vanlig måte å kategorisere trådløse nettverk på er i henhold til antatt rekkevidde. Antatt rekkevidde er ingen eksakt verdi og kan i stor grad variere avhengig av omgivelsene og teknologi.

- NFC (Near Field Communication) <20 cm,
- WPAN (Wireless Personal Area Network) <10 m (eks. Bluetooth, ZigBee, UWB, Z-Wave, 60 GHz),
- WLAN (Wireless Local Area Network) <200 m (eks. WiFi),
- WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) / WWAN (Wireless Wide Area Network) <100 km (eks. GSM/2G, GPRS/2.5G, EDGE/Pre 3G, UMTS/3G, HSPA/3.5G, LTE/4G, WiMAX).

Samtidig som behovet for båndbredde vil øke for en god del applikasjonsområder, ser vi også en utvikling innenfor LPWAN (Low Power Wide Area Networks) spesielt utviklet for trådløse sensornettverk med behov for lang levetid (eks. DASH7, WMBUS, LoRaWAN, Sigfox). Kravene til dataoverføring er relativt beskjedne med prioritet på opplink kommunikasjon, og har sine begrensinger med hensyn på både hastighet/båndbredde og sanntidsapplikasjoner.

Innen trådløs kommunikasjon er det for tiden særlig to signifikante trender, IoT og 5G. IoT kjennetegnes av at et eksponentielt økende antall enheter, eller ting, blir koblet på Internett. Det kan være snakk om sensorer som gir værdata, trafikkinformasjon, tilstand på utstyr, etc. Så langt har båndbreddetallet og latensbehovet (latens er radiosignalet tidsforsinkelse) til disse IoT-enhetene vært små. Det er sannsynlig at det vil øke etterhvert som diversiteten i enhetene øker. Vi antar at økende krav til ytelse vil føre til at dagens nyutviklede standarder vil måtte vike plassen for IoT løsninger basert på mobilnett infrastruktur. En første indikasjon på dette er innføringen av NB-IoT (Narrow-Band IoT).

Dagens versjon av mobilnettet går under betegnelsen 4G. Neste versjon, ikke overraskende kalt 5G, ventes å nå full kommersialisering rundt 2020. Detaljene i 5G er ikke klare, men en del er kjent. Båndbredden vil økes betydelig og cellestørrelsen vil gå betraktelig ned i urbane områder. I tillegg vil latenstiden reduseres vesentlig samt at effektforbruk går ned og maksimal nodetetthet øker markant. Det siste er ikke minst viktig for at 5G skal støtte IoT effektivt. Bildet som tegner seg er altså et *mobilnettverk som effektivt støtter brukere med veldig varierende krav til ytelse*.

Tilgjengelige frekvenser er en begrenset ressurs. Ved å gå opp i frekvens vil tilgjengeligheten på nye frekvenser økes betraktelig, og som nevnt gi muligheter for større båndbredder og kortere latenstider, mens kortere rekkevidde kan være en ulempe i mange tilfeller. 5G definerer frekvensbruk opp mot 30 GHz. Hva som skjer etter 5G er det vanskeligere å forutsi, men trenden mot stadig høyere frekvenser vil sannsynligvis fortsette. Vi kan regne med at båndet rundt 60 GHz, og kanskje også enda høyere, vil bli tatt i bruk. Enkelte miljøer vil også se frekvenser opptil 90 GHz i bruk allerede i 5G nettverk. Akkurat når disse veldig høye frekvensene, også kalt millimeterbølge, blir tatt inn i spesifikasjonene vet man altså ikke.

Historisk sett har det kommet en ny generasjon omtrent hvert tiende år. 6G er betegnelsen som blir brukt på sjette generasjons mobil og trådløse kommunikasjonsnettverk, hvor det er foreslått å integrere 5G med satellittkommunikasjon for å oppnå global dekning. Videre ser man bl.a. for seg roaming mellom de ulike globale satellittsystemene i 7G.

Satellittkommunikasjon er, og vil forbli, viktig for de delene av transportsystemet som ikke har direkte tilgang på bakkenettet, slik som fly- og skipstrafikk. Trenden for satellittkommunikasjon, som for 5G, er i retning av høyere båndbredde, lavere kostnad og mer brukervennlig utstyr. I tillegg arbeides det aktivt med å forbedre

påliteligheten til systemene, noe som vil kunne gjøre dem til en mer integrert del av den globale telekommunikasjonsinfrastrukturen.

Kommunikasjonsbehovet kan segmenteres inn i *passasjerdata* og *operative data*. De operative databehovene vil ha forskjellig karakter avhengig av domene. Typisk vil det inkludere både statusinformasjon og sanntids navigasjonsinformasjon. Fremtidens navigasjonsinformasjon vil påvirkes av trenden mot autonome farkoster, noe som vil sette strenge krav til latenstid og pålitelighet. På den annen side vil passasjerdata kjennetegnes mer av kommunikasjonskanaler med høy båndbredde, særlig nedlink (til sluttbruker). I kommunikasjonssystemer kan det allokeres forskjellige båndbredder til opplink (fra sluttbruker) og nedlink. Et eksempel på stort behov for nedlink båndbredde er ved direkteavspilling (streaming) av levende bilder med høy oppløsning.

Behovet for effektiv, miljøvennlig og sikker trafikkavvikling er økende, og sett fra et kommunikasjonsperspektiv utløser dette større krav til sanntidsdatainformasjon, overføringskapasitet, sømløs integrering og omforente internasjonale standarder.

4.2 Automatisering: trender i transportsystemet

4.2.1 Automatisering av sjøtransport

I Tyskland har utviklingen innen produksjonsteknologi fått navnet Industrie 4.0 og representerer spesielt større integrasjon av datamaskiner og informasjonsbehandling i fysiske komponenter og systemer ("Cyber-Physical Systems"). Skip har siden introduksjonen av dampmaskin rundt år 1810 fulgt de industrielle endringene nokså nøye og Industrie 4.0 er intet unntak. For skip har dette blitt kalt "Shipping 4.0" og er illustrert som vist i figuren under.



Figur 11. Shipping 4.0

Skip er nokså komplekse systemer som kan sammenlignes med en selvforsynt landsby og produksjonssted. Dermed blir utviklingen innen industri fort tatt opp i shipping. Imidlertid vil det også for andre transportmodi være en betydelig overføringsverdi. I maritim sektor er det hurtig utvikling innen flere av disse områdene, spesielt innen data analytics og cyber security, men også innen områder som simulering og optimalisering og

forsterket virkelighet (augmented reality, AR). Imidlertid er det to områder som kanskje har det største potensialet for å skape endringer innen shipping:

- Internet of services at sea som i praksis er digitalisering av tjenesteytingen og samarbeide mellom aktørene innen skipstransport muliggjør store endringer i sjøtransporten. Tradisjonelt har sjøtransport vært underlagt et meget konservativt kontrakts- og samhandlingsregime som forhindrer former for optimalisering som krever tillit mellom aktørene. Dette går på fleksibilitet til hvem som behandler godset og mer optimal ankomsttid i havn for å redusere oljeforbruk. Digitalisering og teknologier for å øke transparens og tillit er meget viktige her.
- Ubemannede skip og autonomi muliggjør nye transportsystemer, spesielt på korte og mellomlange distanser, som kan konkurrere med lastebil. En viktig årsak er antakelsen om at ubemannede skip kan bygges billigere og mindre enn dagens skip, uten at det går ut over operasjonskostnadene per last-enhet.

Et nylig eksempel på det siste punktet er prosjektet som er igangsatt av Yara for å frakte kunstgjødsel fra Herøya til utskipningshavner i Brevik og Larvik på ubemannede skip ("Yara Birkeland").

Yara Birkeland

Erstatter 40 000 konteinere på vei hvert år

Yara kunstgjødsel	Kongsberg partner	Bemannet etter 1 år
Batteri - helelektrisk	Mål: 100-150 TEU, 70 m x 15 m	Fjernstyrt etter 2 år
		Autonomt etter 3 år
Herøya – Brevik 7 nm	Herøya – Larvik 30 nm	

Operert i Brevik Sjøtrafikksentraltjenesteområde (VTS – Vessel Traffic Service area)



Foto; Kongsberg Maritime/Yara

To utfordringer for sjøtransport i dette bildet som til dels er sammenfallende med tog er de følgende:

1. Kommunikasjon med skip (og tog) som befinner seg langt fra 4G og 5G infrastruktur er fremdeles utfordrende. Man kan bruke satellitt, men dette er nokså kostbart, har betydelige forsinkelser og begrenset båndbredde. Internet of Things (IoT) som vi kjenner det i industriell og urban sammenheng

må tilpasses disse begrensningene. Derfor kaller vi dette vanligvis for "Internet of Things at Sea" eller "Internet of Things in Remote Areas".

2. "Last mile"-problematikken fra terminaler eller havner til sluttbruker av transporttjenestene er hvor mye av konkurransekraften til skip og tog blir redusert. Omlastninger er nokså kostbart og dersom varene først er på bil så er det vanskelig å få de tilbake på kjøll eller togvogn. Det er nødvendig å se på mer effektive løsninger på dette problemet. Her kan autonom varetransport og automatisk omlasting være interessante og felles løsninger.

4.2.2 Automatisering av vegtransport

Automatisert kjøring på veg skjer innenfor rammen av intelligente transportsystemer (ITS), der anvendelse av IKT gjør transportsystemene mer trafikksikre, mer effektive, mer miljøvennlige og mer tilgjengelig for alle typer trafikanter. Eksempler på lokale ITS-løsninger er datainnsamling, trafikk kontroll og informasjon ut til trafikantene. På motor-/landevegnettet har de europeiske veginfrastrukturholderne i flere år samarbeidet om å etablere samordnede løsninger for Europa. Som et verktøy i dette arbeidet har de i fellesskap utviklet en informasjonsmodell for utveksling av veg- og trafikkdata, DATEX II. Arbeidet fortsetter gjennom utrullingsaktiviteter hvor Norge blant annet deltar på strekningen E6 Svinesund-Oslo. Etter hvert som biler har blitt utstyrt med informasjons- og kommunikasjonsteknologi har utviklingen gått mot samvirkende intelligente transportsystemer (C-ITS). Slike systemer muliggjør kommunikasjon mellom kjøretøy og mellom kjøretøy og infrastruktur. Dette legger igjen grunnlaget for automatisert kjøring.

Med automatisert kjøring på veg menes at kjøretøyet er i stand til å kjøre på en veg på en effektiv og sikker måte med delvis eller helt uten hjelp av en fører. Automatisert kjøring på veg har allerede foregått i mange år, men på et veldig lavt funksjonelt og teknisk nivå. Det har f.eks. lenge vært mulig å la kjøretøyet kontrollere hastighet og avstand til forankjørende kjøretøy ved hjelp av en ITS applikasjon som støtter ITS tjenesten Adaptiv cruisekontroll. Automatisert kjøring på veg på det høyeste funksjonelle og tekniske nivået betyr at kjøretøyene ikke har noen fører og at kjøretøyet kan ta de samme beslutningene og aksjonene som en fører kan ta under alle tenkelige omstendigheter en fører kan komme ut for. Dette nivået ligger nok litt lenger frem i tid.

Den USA-baserte organisasjonen SAE International (Society of Automotive Engineers) med medlemmer fra hele verden har utarbeidet standarden *SAE J3016:2016 Surface vehicle recommended practice – Taxonomy and Definitions for Terms related to Driving Automation systems for On-Road vehicles*. Denne standarden skal nå gå over til å bli en ISO standard og skal utarbeides i et samarbeid mellom ISO TC204 ITS og SAE. Denne standarden har beskrevet 6 nivåer for automatisert kjøring på veg og disse nivåene har manifestert seg i flere andre internasjonale og nasjonale standarder og retningslinjer for automatisk kjøring på veg. Nivåene er basert på hvordan føreroppgavene er fordelt mellom fører og det systemet i kjøretøyet som kan gjennomføre en automatisert kjøring på veg. Med føreroppgaver menes alle sanntids operasjonelle og taktiske oppgaver som må løses for å føre et kjøretøy på veg på en effektiv og sikker måte.



Figur 12. Føreroppgaver kan fordeles mellom fører og system for automatisert kjøring

I tillegg er nivåene basert på de omgivelsene som kjøretøyet krever for at den automatiske kjøringen på ønsket nivå skal kunne gjennomføres. Eksempler på faktorer som beskriver omgivelsene er tillatt hastighet, trafikkmiljø (sammensetning av trafikkantkategorier som bruker samme trafikkareal), digital infrastruktur, vær- og føreforhold, geografi og veginfrastruktur. Automatisert kjøring på nivå 3 kan f.eks. kreve at kjøretøyet ikke har en hastighet på over 45 km/timen og at det kan kjøre på egne veger.

En kort beskrivelse av de 6 nivåene er gitt nedenfor. Navnene på nivåene er de samme som er brukt i lovutkastet til den norske loven om utprøving av selvkjørende kjøretøyer (legges frem høsten 2017).

Nivå 0: Ingen automatisering. Fører utfører alle føreroppgaver, men kan støttes av aktive sikkerhetssystemer. Fører kan bruke kjøretøyet i alle tenkelige omgivelser.

Nivå 1: Førerassistanse. Systemet for automatisk kjøring kan styre/kontrollere kjøretøyet i kjøreretning eller sidevegs. Føreren utfører resten av føreroppgavene. Nivået har krav til kjøretøyets omgivelser, f.eks. maksimal tillatt hastighet eller synlig vegoppmerking (midtløpe og kantlinje).

Nivå 2: Delvis automatisering. Systemet for automatisk kjøring kan styre/kontrollere kjøretøyet i kjøreretning og sidevegs. Føreren utfører resten av føreroppgavene. Nivået har krav til kjøretøyets omgivelser, jfr. eksemplet for Nivå 1.

Nivå 3: Betinget automatisering. Systemet for automatisk kjøring utfører alle føreroppgaver. Nivået har krav til omgivelser og krav om at en person i kjøretøyet skal kunne ta over føreroppgavene dersom det er behov for det.

Nivå 4: Høy grad av automatisering. Systemet for automatisk kjøring utfører alle føreroppgaver. Nivået har krav til omgivelser, men ikke krav om at en person i kjøretøyet skal kunne ta over føreroppgavene dersom det er behov for det. Det vil være back-up systemer som tar over eller kjøretøyet vil bli stoppet på en måte som ikke skaper noen risiko for trafikanter og kjøretøyer.

Nivå 5: Full automatisering. Systemet for automatisk kjøring utfører alle føreroppgaver. Nivået har ingen krav til omgivelser og det er heller ikke krav til at en person i kjøretøyet skal kunne ta over føreroppgavene dersom det er behov for det. Det vil være back-up systemer som tar over eller kjøretøyet vil bli stoppet på en måte som ikke skaper noen risiko for trafikanter og kjøretøyer.

Utviklingen av automatisert kjøring på veg er knyttet til flere faktorer. Noen av de viktigste er teknologisk utvikling, juridisk grunnlag og brukeraksept.

Den *teknologiske utviklingen* vil gjøre det mulig å gjøre systemet for automatisert kjøring så avansert at det kan registrere det samme som en fører, tenke det samme som en fører og utføre de samme handlingene som en fører under alle de forholdene en fører kan komme opp i. Dette krever en utvikling av både sensorteknologi og den maskin- og programvaren som skal opptre som fører av kjøretøyet. Det krever også en utvikling av kommunikasjonsteknologi slik at kjøretøyet kan kommunisere med objekter rundt seg i tillegg til å oppdage og overvåke objekter som kjøretøyet ikke kommuniserer med. Overvåkingen inkluderer f.eks. å registrere objektene og deres egenskaper, f.eks. retning og hastighet. Et typisk eksempel er å registrere et barn som løper ut i kjørebane og registrere barnets hastighet og retning.

Det *juridiske grunnlaget* er viktig for utviklingen av automatisert kjøring på veg. I Norge og flere andre land foreligger nå det juridiske grunnlaget for å starte med en utprøving av automatisert kjøring. Det er trolig et godt stykke igjen til det juridiske grunnlaget er kommet så langt at det muliggjør full automatisering (nivå 5). Den juridiske utviklingen og den teknologiske utviklingen vil trolig gå litt hånd i hånd. Den teknologiske utviklingen vil trolig påvirkes av hva som er tillatt å implementere av slike systemer og det juridiske grunnlaget vil også henge sammen med hva som er teknologisk mulig. I verste fall vil utviklingen innenfor dette området kunne gå i utakt og det vil kunne skape forsinkelser for innføring av automatisert kjøring på veg på de nivåene hvor systemet for automatisert kjøring utfører alle føreroppgaver.

Den tredje viktige faktoren er *brukerkrav og brukeraksept*. Hvilke krav vil brukeren av det kjøretøyet som kan gjennomføre automatisk kjøring på veg ha til kjøretøyet, og hvilke krav vil brukeren ha til den infrastrukturen rundt kjøretøyet som skal støtte og muliggjøre den automatiserte kjøringen? Hva skal til for at brukeren virkelig benytter seg av automatisert kjøring, både med hensyn til transport av gods og personer? Dette er kanskje den mest usikre faktoren med hensyn til videre utvikling av automatisert kjøring på veg og hvor fort man vil kunne komme opp på det høyeste nivået av automatisert kjøring.

Etter hvert som biler har blitt utstyrt med informasjons- og kommunikasjonsteknologi har utviklingen gått mot samvirkende intelligente transportsystemer (C-ITS). Slike systemer muliggjør kommunikasjon mellom kjøretøy, og mellom kjøretøy og infrastruktur. En av byggestenene har vært ISO 14813-1 Intelligent Transport Systems – Reference model architecture(s) for the ITS sector – Part 1: ITS service domains, service groups and services (CVIS).

Mange av spesifikasjonene fra CVIS prosjektet (avsluttet 2010) har dannet grunnlag for senere ITS standarder utarbeidet av European Telecommunications Standards Institute (ETSI), European Committee for standardisation (CEN) TC 278 ITS og International Standardisation Organisation (ISO) TC 204 ITS. Disse standardiseringsorganene har utarbeidet standarder både for ITS applikasjoner som f.eks. Electronic Fee Collection og kommunikasjonsstandarder for ITS applikasjonene som støtter de ulike ITS tjenestene. En av de viktigste arkitekturstandardene for kommunikasjon er ISO 21217 ITS – Communications access for land mobiles (CALM) – Architecture. Et annet eksempel på sentrale ITS standarder er ETSI standardene 302 637 – 2 og 302 537 – 3 som beskriver meldingene Cooperative Awareness Message (CAM) og Decentralized Environmental Notification message (DENM). Den første meldingen sender nesten kontinuerlig informasjon om kjøretøyets posisjon, hastighet, retning osv. til alle kjøretøyer rundt seg. Den andre meldingen sender informasjon om hendelser eller trafikk- og veginfo til kjøretøyer rundt seg og til infrastrukturen, f.eks. en vegtrafikkssentral. Dette kan f.eks. være informasjon om motorstopp og parkering i vegkant, hull i vegdekket, ulykke, kødannelse eller glatt kjørebane. Et tredje eksempel på en viktig standard er en ISO standard som

beskriver mer enn 160 ITS tjenester ISO 14813-1 Intelligent Transport Systems – Reference model architecture(s) for the ITS sector – Part 1: ITS service domains, service groups and services.

Automatisert koordinering av flere fartøyer kan anvendes både i trafikken og andre områder. Automatisert koordinering av tungtransportkjøretøy – **"truck platooning"** – innebærer at flere tungtransportkjøretøy kjører automatisert på rekke tett inntil hverandre. Redusert drivstofforbruk (og dermed lavere utslipp) samt redusert bruk av veibanelengde er noen av fordelene ved slik koordinert oppførsel. Truck platooning har vært testet over lengre avstander bl.a. i EU Truck Platooning Challenge. Automatisert koordinering av flere bakkegående fartøyer er også fordelaktig for bl.a. snørydding. Avinor har i den forbindelse fremmet utvikling av selvkjørende brøytebiler hvor det er en målsetning at brøytebilene skal automatisk kunne kjøre i formasjon for å fjerne snø på Avinors rullebaner. Det planlegges en pilottest av selvkjørende brøytebil i Bodø i mars 2018².

Utviklingstrender

Utviklingen innen selvkjørende kjøretøy kan være en utfordring for veginfrastrukturforvaltere. Slike kjøretøy kan på én side tenkes å håndtere kjøringen helt på egen hånd. På den andre siden åpner kjøretøy med slik teknologi også for en kontinuerlig kommunikasjon mellom det enkelte kjøretøy og infrastrukturen. Dette krever at infrastruktureier bygger ut teknologi slik at kjøretøyene har kommunikasjonspunkt.

Bruk av mobil kommunikasjonsteknologi er helt klart en sterk trend. Ved å benytte mobil kommunikasjon slipper infrastruktureier å investere i utstyr som gir 100% dekning. Kritiske deler av infrastrukturen kan utrustes med ITS-stasjoner, men ikke hele infrastrukturen.

Ved at kjøretøyene får mulighet til kontinuerlig oppkobling mot infrastrukturen legges det til rette for individuell trafikkstyring av bilene. Denne trenden kan påvirke både gods- og passasjertransport, og også åpne for en bedre kombinasjon av slik transport, både i byer og i spredtbebygde strøk.

4.2.3 Automatisering i banetransport

Automatisk bybane har eksistert i København siden 2002. Det diskuteres fortsatt om Fornebubanen, som etter planen skal stå ferdig i 2025, skal bli automatisk. I løpet av det neste tiåret forventes også etablering av autonome (selvkjørende) systemer for jernbane. Selv om dette er en økende trend i byområder verden over, er Norge per i dag ikke i front når det gjelder bruk av automatiske og autonome løsninger på bane.

Norges ERTMS-planer (European Rail Traffic Management System) frem til 2033 inneholder ikke planer for automatiske eller autonome løsninger. EU har heller ikke inkludert automatisering i ERTMS-spesifikasjonene og har heller ikke planer for det de nærmeste årene. ERTMS beskrives nærmere under.

I 2017 introduserte et kinesisk selskap (CRRC Zhuzhou Locomotive Co., Ltd) en ny løsning for tog som er spesielt godt tilpasset bybaner. Denne løsningen har man kalt "Virtuelle spor". Det betyr at istedenfor å kjøre på spor så kjører man på asfalt med gummihjul. Dette oppnår man ved bruk av ny teknologi som registrerer dimensjonene på veien. Dermed slipper man å legge jernbanespor. Dette fører til at man kan spare betydelige beløp, spesielt ved bygging av nye linjer. Togsettene forventes å

² Selvkjørende brøytebil testes i Bodø i 2018: <http://safecarnews.com/semcon-signs-agreement-to-provide-autonomous-snow-removal-vehicle-to-avinor/>

være kommersielt tilgjengelig allerede i 2018. I tillegg kan man med denne teknologien tilpasse nye linjer på eksisterende veier. Foreløpig er det ukjent hvor behagelig det blir å kjøre dette i forhold til eksisterende bybaner.

ERTMS og CBTC

European Rail Traffic Management System (ERTMS) er et felles europeisk signalanlegg for jernbanen. Hovedprinsippet bak ERTMS er at lyssignaler langs sporet erstattes av informasjon om kjøretillatelse og hastighet. Denne informasjonen sendes trådløst direkte til togets førerrom og gjengis på en dataskjerm. ERTMS består av hastighetsovervåkning og signalering, GSM-R-kommunikasjon mellom tog og signalanlegg, samt felles europeiske trafikkregler.

I Norge har Stortinget besluttet at ERTMS nivå 2 skal bygges ut i hele Norge og være ferdig til 2030. Nivå 2 innebærer bruk av sporfelt (benyttes innen skinnegående materiell for å avklare om en strekning er belagt av et tog eller om det er ledig) eller akselteller som er utplassert langs jernbanelinjen (akselteller brukes til å registrere antall passerende akslinger for å være sikker på at hele toget har passert). Løsningen er forventet å være lønnsom og praktisk først når signalutstyret langs sporet kan fjernes. Dette omtales som nivå 3. Man forventer ikke at spesifikasjoner for nivå 3 er på plass før forskning har løst utfordringer som tillater at signalutstyret langs sporet fjernes. Videre forutsettes at en politisk løsning for nivå 3 kommer på plass, i følge med lover og spesifikasjoner på samme måte som for nivå 2.

Nivå 3 har en del likheter med dagens kommunikasjonsbasert togkontroll (CBTC – Communication Based Train Control) løsning for bybaner. Gjenbruk av denne teknologien og sterk utvikling av ERTMS-lignende løsninger i land som Kina, gjør det sannsynlig at ERTMS på nivå 3 vil utvikles før 2030. Videre må GSM-R løsningen erstattes av f.eks. 5G og en satellittløsning som tillater utveksling av større mengder informasjon i større hastighet. Dermed kan planleggingen av nivå 3 starte før nivå 2 er ferdig implementert. I 2060 kan man forvente at de fleste jernbanelinjer i Norge har en nivå 3 løsning. I løpet av det neste tiåret vil også flere produkter, som sikringsanlegget, inngå i ERTMS løsningen, slik at jernbanen kan konkurrere bedre i forhold til andre transportformer.

Shift2Rail (S2R) Joint Undertaking ble etablert i 2014 som det første europeiske jernbaneinitiativet som fokuserer på forskning og innovasjon, og er organisert som et offentlig privat samarbeidsprogram i EU. S2R finansieres av EU (Horizon 2020) og representanter fra industrien som har konkurrert seg til medlemskap i organisasjonen. Målet er å doble kapasiteten til det europeiske jernbanesystemet samtidig som livssyklus kostnadene halveres. S2R har fokus på innovasjon og forskning innen både rullende materiell (tog), infrastruktur, kontroll- og styringssystemer, ITS/tjenester og godstransport. Dette har vært nødvendig for å møte den sterkt fremvoksende forskningen og innovasjonen innen jernbane som foregår i Asia. At det forskes og satses så mye på innovasjon innen jernbane over hele verden fører til at man vil komme frem med flere nye løsninger allerede før 2033 som vi ikke kjenner til i dag. Norge ble ikke medlem i S2R, men det vil være viktig å følge med på hva som skjer i S2R slik at en er forberedt på utviklingen innen feltet.

Kommunikasjonsbasert togkontroll (CBTC) er det mest moderne signalsystemet for bybaner, og det er besluttet at hele Oslo bybane skal bygges ut som CBTC innen 2025. I 2060 kan man forvente at flere norske byer har moderne CBTC og at flere byer har bybaner. CBTC er imidlertid mindre standardisert enn ERTMS,

da samtrafikkevnen ikke er av samme betydning når man utvikler systemer for bybaner. Ulempen ved CBTC er at forskjellige leverandører har forskjellige proprietære systemer.

4.2.4 Automatisering i luftfart

Rapporten Flightpath 2050 [EUFlightpath, 2011] har en visjon om at 90 prosent av alle reiser i Europa skal ta mindre enn 4 timer fra dør til dør. EU sin luftfartsstrategi ser på luftfarten som en mulighet til vekst for regionen og økt global makt. Strategien nevner at en økning på 10 % i flyplassforbindelsene gir en økning på 0,5 % i brutto nasjonalprodukt per innbygger. Økningen skal blant annet skje gjennom innovasjon og teknologiske løsninger, samtidig som en ivaretar sikkerheten og miljøet. Innen luftfarten ledes utviklingen an ved hjelp av lovgiving fra EU og påfølgende krav til å ta i bruk nye konsepter og teknologiløsninger. Innen lufttrafikkledelse (Air Traffic Management – ATM) er industri og tjenesteleverandører enige om en Master Plan som beskriver fremtidige operative konsept og løsninger som oppdateres jevnlig. Teknologien utvikles gjennom et privat offentlig samarbeid som heter SESAR (Single European Sky ATM Research programme) og organiseres av SESAR Joint Undertaking, hvor også norske aktører er medlemmer (Avinor, Avinor Flysikring, Indra Navia og SINTEF Digital).

På sikt vil SESAR bidra til implementering av

- Automatiserte beslutningsstøtteverktøy
- Virtualiseringsteknologi (teknologi for å opprette virtuelle utgaver som tilsvarende den fysiske verden)
- Standardiserte og samarbeidende systemer både mellom land og aktører i bransjen

SESAR finansieres av EU-kommisjonen, EUROCONTROL og industri. SESAR 1 hadde 15 partnere, var aktivt fra 2008 til 2016 og hadde et budsjett på 2.1 milliarder Euro. SESAR 2020 startet i 2016 og går frem mot 2024, med et budsjett på 1,6 milliarder Euro. I SESAR 2020 deltar 19 partnere. Partnerne har kvalifisert seg gjennom konkurranse og blitt tatt opp som medlemmer av SESAR Joint Undertaking (SJU). Noen av medlemmene er konsortier og flere har underleverandører, slik at medlemmene representerer rundt 100 organisasjoner med cirka 3000 eksperter som arbeider med forskning og utvikling innen Air Traffic Management i Europa. I SJU deltar myndigheter, tjenestetilbydere, forskning, leverandørindustrien og brukerne i samme prosjekt, slik at teknologien som utvikles tilfredsstiller behovene.

Implementeringen vil skje uavhengig av landegrensene slik at operasjoner og informasjonsutveksling kan skje sømløst. Lufthavner vil bli integrert i et nettverk som vil fasilitere og optimere luftoperasjoner. Mellom 2035 og 2050 vil luftfarten i Europa bli ytelsesstyrt og tjenestene bli gitt fra ende til ende, og ikke regionalt som i dag. All nødvendig informasjon om hele flyturen vil være tilgjengelig i 4 dimensjoner (høyde, retning, avstand og tid) i et nettverk hvor dataene vil være åpne etter et "need to know" basis. Det betyr blant annet at flyene kan fly sin foretrukne rute, uten å være begrenset av dagens luftromsoppdeling og fragmentering av tjenesten. En utfordring i et nettverk hvor alle, som for eksempel er tilknyttet en flyplass, skal dele informasjon er hvordan en kan beskytte informasjon som skal være tilgjengelig men samtidig er sensitiv i forholdet mellom konkurrerende bedrifter som er tilsluttet.

Ambisjonen er videre å inkludere alle typer luftfartøyer, noe som blir en stor utfordring. I tidsrommet mellom 2020 og 2025 er det forventet at det på verdensbasis til enhver tid vil finnes ubemannede fartøy i et stort antall:

- 10 - 100 fartøy utenfor 100 km over jorden
- 10 000 fartøy mellom flygenivå 600 (ca 60 000 fot) og 100 km
- 100 – 1000 mellom 500 fot og FL 600
- 10 000 000 under 500 fot

SWIM – System Wide Information Management. SWIM utvikles gjennom SESAR og skal bli et nettverk for utveksling av flyrelatert data. Systemet har allerede 1000 brukere og 150 organisasjoner som bidrar med informasjon, og kan bidra innenfor 70 forskjellige tjenester. I et eget prosjekt som er kalt "ATM Data as a Service" har flygeledere i Ljubliana, Slovenia, kontrollert fly i "shadow mode" basert på data som er fjernprosessert ved EUROCONTROL sitt kontrollsentral i Maastricht. Shadow mode er en metode innen simulering som ligger svært nært opp til virkelige operasjoner, hvor en benytter virkelige trafikkdata i sanntid, men beslutningene/trafikkstyringen påvirker ikke den virkelige trafikken.

4.3 Elektrifisering

Stadig mer av transportsystemet elektrifiseres. Særlig gjelder dette land- og sjøtransport. Om dette er en følge av automatisering eller en driver til automatisering er foreløpig usikkert. Det som derimot er sikkert er at disse påvirker hverandre. Norge er et foregangsland innen elektrifisering av vegtransport og det er få tegn til at denne utviklingen stopper brått opp. Store deler av den landbaserte automatiserte transporten er også elektrifisert. Dette gjelder særlig innen kollektivtransport slik som buss og tog. Distribusjonsbiler, som for en stor del bedriver lokal godstransport, er i ferd med å elektrifiseres. Gjennom utviklingen av stadig bedre elektriske drivlinjer forsterkes denne utviklingen. Elektrifisering beskrives i en rekke kapitler i rapporten, bl.a. i kapittel 7.

4.4 Smarte byer og samfunn

Fremtidens smarte byer og samfunn vil være preget av bl.a. smart energistyring, smarte bygninger og smart transport. Det som kjennetegner smarte samfunn er at tjenestene og løsningene vokser fram over tid, og at tjenester og løsninger henger sammen. Smart transport vil i stor grad være knyttet til smart energistyring og til nabolag med smarte bygninger som deler på energi og mobilitetstjenester.

I smarte byer og samfunn vil transportmidlene i stor grad være elektriske, og disse må lades uten at strømmettet overbelastes og uten at strømmettet må bygges ut til å tåle store toppler med etterspørsel etter energi. Man må ha energismarte nabolag med smart energistyring, lokal produksjon av ren energi og mulighet for å lagre denne energien til det er bruk for den (f.eks. til billading). Når strømmen lages og brukes lokalt, så unngår man toppene. Ladingen må også fordeles over tid, avhengig av når det er behov for de ulike transportmidlene. Transportmidler som ikke skal benyttes kan benyttes som energikilder for lading av andre transportmidler.

4.4.1 Selvkjørende biler og redusert arealbehov

Mest mulig av persontransporten skal dekkes ved at personer går, sykler eller benytter kollektivtransport. Kollektivtransporten kan være selvkjørende. I tillegg kan mindre selvkjørende busser eller biler tilby transport til og fra kollektivknutepunktene (first/last mile) dersom avstandene er store eller for personer som ikke kan

gå eller sykle selv. De kan også benyttes i "on demand" kollektivtransport i områder hvor det ikke er grunnlag for rutegående transport med hyppige avganger og for personer med spesielle behov.

Med selvkjørende biler kan en utvikle kollektivtransporten til å bli bedre, og behovet for å eie en egen bil vil bli mindre. Man vil dele på å bruke de selvkjørende bilene, enten i et nabolag eller i byen som en helhet. Når man sparer personalkostnadene (til sjåfører) kan man få rom for å utvikle bedre kollektivtjenester.

Selvkjørende bilene vil i stor grad være i bruk og ikke stå parkert. Behovet for parkeringsplasser vil dermed reduseres sterkt. I tillegg vil de selvkjørende bilene kunne utnytte veiene på en mer effektiv måte enn dagens biler. De kan kjøre tettere siden de kan kommunisere med hverandre og bremse samtidig, og de kan pakkes tettere i bredden. Som en konsekvens av dette kan arealbruken til parkering og bilveier reduseres. Det vil frigjøres areal til syklist og fotgjengere og til andre formål.

Selvkjørende transportmidler vil også benyttes innen godstransport, både for langtransport (større biler som kjører alene eller i kolonner som "tog" – såkalt "platooning") og for distribusjon av gods (mindre biler og kanskje droner). Netthandel gjør at trenden går mot stadig flere mindre leveranser, og når dagligvarer også handles på nettet vil dette øke enda mer. Selvkjørende transportmidler vil kunne levere flere leveranser per tur med optimerte ruter.

4.4.2 Mobilitet som tjeneste

I dag kjøper man persontransport per enhet (dvs. tur) eller man kjøper en pakke fra én leverandør (f.eks. periodebillett for kollektivtransport). Man kan ikke kjøpe pakker som går på tvers av mange leverandører (kollektivtransport, taxi, bildeling, bysykkel, osv.). Kanskje går utviklingen samme vei som innen telekom hvor man i stadig mindre grad betaler per enhet (tellerskritt, samtale eller SMS), og i stedet betaler for en tjeneste som virker sømløst på tvers av mange leverandører. Konseptet "Mobility as a Service (MaaS)" går ut på at man kan kjøpe mobilitetstjenester fra en MaaS-leverandør, med én betaling, og man får hjelp til å forflytte seg fra dør til dør ved at egnede transporttjenester fra ulike leverandører kombineres på en best mulig måte. MaaS-leverandøren har avtaler med alle leverandørene av transporttjenester, mens brukeren kun forholder seg til MaaS-leverandøren ved hjelp av brukertilpassede applikasjoner som støtter gjennomføringen av reisen på en sømløs måte.

Realiseringen av MaaS kan kategoriseres i henhold til nivået av integrering, representert ved merverdi og konsekvenser for næring, samfunn, brukere og tekniske krav [Sochor, 2017]. Nivåene er;

0. Ingen integrering: enkeltstående tjenester, vanligvis kun for en transporttype
1. Integrert informasjon: Ofte sentralisert informasjon som bidrar i en multimodal reiseplanlegging (f.eks. ruteplaner fra flere operatører), og informasjon nødvendig som assistanse til en reise (f.eks. sanntidsdata fra flere operatører). Det er mange eksempler på slike tjenester, f. eks. Google Maps og offentlige ruteplanleggere.
2. Integrert betaling: Betaling for hele eller deler av en multimodal reise kan gjøres fra en MaaS løsning (one stop shopping). Teknisk integrering av alle operatører er nødvendig for å gjennomføre slik betaling og utstedelse av billetter. Flere MaaS tilbydere har denne løsningen i dag, f.eks, Moovel.
3. Integrert kundeforhold og kundeerfaring: Tilby en tjeneste som er et realistisk alternativ til privatbil. MaaS tjenestetilbyder har forretningsavtaler som tillater dem å kombinere og videreformidle tjenester fra andre tjenesteleverandører som en pakketjeneste. Abonnement til slike

pakker bør dekke alle transportbehov for en familie. MaaS Global er en av veldig få leverandører på dette nivået.

4. Integrert lokal policy: Inkluderer myndighetenes samfunns- og miljøansvar, f.eks. ved at funksjonaliteten til tjenesten favoriserer "riktig" holdning i forhold til bruk av grønne transportmodi, sykling og gange i tillegg til tildeling av bonuspoeng som kan bli brukt til å kjøpe transporttjenester. Ingen MaaS tjenesteleverandør tilbyr på dette nivået i dag, men det kan forventes rundt år 2020.

4.4.3 Tjenesteinnovasjon og forretningsmodeller

Bilindustrien og andre aktører som leverer transportmidler og systemer for styring av trafikk vil implementere standarder for automatisering innen transportsektoren (C-ITS, ERTMS, osv.). I tillegg vil det vokse fram nye mobilitetstjenester (f.eks. tjenester basert på selvkjørende biler) og digitale tjenester som blant annet støtter de som reiser. De digitale tjenestene vil være viktige bidrag i arbeidet med å få til mer bærekraftig og mer effektiv transport da de kan hjelpe brukere til å ta smarte valg og fremme mer optimale transportløsninger. Transportetatene kan ikke selv utvikle alle disse tjenestene. Eksisterende og nye bedrifter må bidra, og de må kunne tjene penger på dette.

De digitale tjenestene må kunne tilfredsstille individuelle behov på en sømløs måte. Brukernes digitale kalendere og sosiale media-klienter kan for eksempel gi informasjon om hvor og når de skal være til ulike tidspunkt, og planlegging og bestilling av elbillading, reiseplanlegging og navigasjonsstøtte vil skje automatisk ut fra brukerens preferanser. Det blir viktig å ivareta personvernet. Tjenesteleverandører må for eksempel ikke lagre eller utveksle persondata med tredjepart uten samtykke fra brukerne, og data må kun brukes til de formål som brukeren har gitt samtykke til. Tjenesteleverandørene må derfor har svært god kontroll med hvordan de bruker data når de utvikler sine tjenester.

Nye tjenester (blant annet de vi dag kaller delingstjenester) vil gi nye forretningsmodeller, spesielt verdinettverk hvor mange aktører bidrar med komplementerende tjenester slik som formidling av Mobility as a Service, brukertilpasning, informasjon, transport, betaling, infotainment osv. Mange digitale tjenester kan vokse fram basert på åpne data fra transportetatene kombinert med åpne data fra andre aktører. Dersom transportetatene, byer og andre aktører kan samles om felles dataformater og løsninger så vil denne innovasjonen bli lettere og mer effektiv.

4.5 Cybersikkerhet (cyber security)

Cybersikkerhet (cyber security) spiller en stadig viktigere rolle både innen forskning og praksis relatert til alle transportmodi. Nye trusler oppdages jevnlig, og spesielt har hendelser som de som rammet elektrisitetsdistribusjonen i Ukraina i 2015 og 2016 fått mye fokus (se inforute nedenfor). Mye tyder på at nasjonalstater står bak eller støtter flere slike angrep i den senere tid. Som et resultat av dette søker nå flere europeiske initiativer å sikre at fremtidens kritiske infrastrukturer skal være resiliente mot potensielle cyberangrep. I framtiden er det sannsynlig at vi vil oppleve nye trusselvektorer – for eksempel mot industrielle komponenter som understøtter kritiske infrastrukturer. Det er videre rimelig å anta at også ikke-statlige aktører vil få tilgang til teknologier som i dag forutsetter tilgang til vesentlige finansielle og tekniske ressurser. Samtidig må vi forvente at mange av dagens beskyttelsesmekanismer for kritisk infrastruktur vil kunne eroderes grunnet den tette integrasjonen mellom transportsystemer og IKT-løsninger.

I desember 2015 ble tre Ukrainske distribusjonsselskaper utsatt for hackerangrep. Dette er det første kjente vellykkede angrepet på kraftnett. Hackere klarte å midlertidig forstyrre krafttilførselen til sluttbrukere. Selskapet som ble hardest rammet opplevde at 30 stasjoner ble frakoblet, og omtrent 230 000 brukere mistet strømtilgangen i en periode på én til seks timer.

Et spesielt fokus for framtiden må være å sørge for at den utvidede transportkjeden er kjent med eksisterende og nye trusselvektorer. Slik kunnskap er en forutsetning for bred resiliens mot cybertrusler, og bidrar til at løsninger implementerer sikkerhet ved design [EUFlightpath, 2011], snarere enn som ettermonterte tilleggsløsninger. Det anbefales å bygge på nasjonale initiativ, EU-prosjekter og standardiseringsaktiviteter for å sikre at det utvidede fellesskapet av transportleverandører kan lære av hverandre.

4.6 Eierskap til data

Med økende bruk av sensorer, digitalisering og effektiv kommunikasjonsteknologi genererer vi stadig større mengder data i transportsystemet. Med den økte dataflyten følger problemstillinger knyttet til personvern, juridisk ansvar og eierskap. Dette gjelder de fleste typer data, som for eksempel:

- Trafikkdata innsamlet av infrastrukturoperatører og som er verdifull informasjon for statistiske analyser eller sanntidsoppdateringer av logistikkfunksjoner.
- Tekniske data fra kjøretøy og infrastruktur som kan samles inn av utstyrsprodusenter eller andre og som inneholder verdifull informasjon om energibruk, effektivitet, vedlikeholdsbehov, driftssikkerhet og annet som er av interesse for operatører, brukere og andre.
- Last- og kontraktsdata som er nødvendig for gjennomføringen av operasjonene, men som også har betydning for effektivisering i terminal og under transport samt som statistisk underlag.

Eierskap er et særlig sentralt begrep i tilknytning til trafikkdata og eieren av trafikkdata er den fysiske personen, organisasjonen eller myndigheten som har skapt et gitt sett med trafikkdata, og som kan verifisere at dette settet er sanne og pålitelige. Med trafikkdataeierskap menes retten til å bruke, leie ut, selge, gi bort og destruere trafikkdata [Foss et al., 2016]. I det følgende gis et eksempel på eierskap av data.

Trafikkdata er

- informasjon om objekter som benytter transportsystemet hvor informasjonen kan være knyttet til enkeltobjekter, f.eks. kjøretøy, eller til strømmer av objekter, f.eks. en strøm av fotgjengere. Informasjonen kan samles inn både ved hjelp av informasjon fra selve objektet eller fra sensorer tilknyttet den infrastrukturen som inngår i transportsystemet.
- informasjon om selve transportinfrastrukturen, f.eks. temperatur i vegdekket/overbygning og status på overflatedekke, f.eks. våt, is- eller snødekket. Det kan også omfatte informasjon som sier noe om siktforhold i transportinfrastrukturen.

4.6.1 Eksempel på eierskap til data

Figuren under viser et eksempel på informasjonsstrømmer mellom ulike aktører i verdikjeden. En bilprodusent (som i dette virkelige eksemplet er Volvo) samler inn rådata fra Volvo kjøretøyer. Dette kan være rådata som kjøretøyets hastighet og de friksjonsforholdene som kan registreres ved hjelp av kjøretøyets sensorer og kombinasjon av sensorer. Volvo sender deretter rådata og behandlede data til Statens vegvesen. Rådata kan være all rådata eller et utvalg av rådata. Behandlede data kan være aggregerte data eller nye data som er

fremkommet gjennom analyser av rådata. Eierskapet til rådata eller behandlede data tilfaller Volvo siden det er Volvo som har skapt dataene og det bare er Volvo som kan verifisere at rådata og behandlede data er sanne og pålitelige.

Rådata og behandlede data sendes til Statens vegvesen gjennom nettverket til en organisasjon eller myndighet som leverer kommunikasjonstjenester. Ved hjelp av sikkerhetsmekanismer for overføringen kan mottaker kontrollere at dataene ikke er endret underveis fra avsender og at de derfor er sanne og pålitelige. Alternativt kan en se på tjenesteyteren av kommunikasjonstjenester som en midlertidig eier av data siden det bare er tjenesteyteren som kan verifisere at dataene som sendes gjennom nettverket er sanne og pålitelige, dvs. de er ikke endret i løpet av transporten gjennom nettverket. For at mottaker av data skal kunne stole på opprinnelsen til data må det foreligge en avtale mellom avsender og mottaker (Volvo og Statens vegvesen) som sikrer kvaliteten på de dataene som Statens vegvesen får oversendt fra Volvo. Volvo står fortsatt som eier av de rådataene og behandlede dataene som ble sendt videre til Statens vegvesen og Statens vegvesen har bruksrett til rådata gjennom en bruksrettsavtale.



Figur 13. Eksempel på innsamling, behandling og levering av trafikkdata [Foss et al., 2016]

Statens vegvesen samler også inn rådata fra sine egne vegkantstasjoner, f.eks. data om trafikkstrømmer og vær- og føreforhold. Statens vegvesen blir her eier av rådata siden det er Statens vegvesen som har skapt dataene og kan verifisere at disse rådataene er sanne og pålitelige. Statens vegvesen mottar også sekundærdata, i dette eksemplet fra Meteorologisk institutt som også da er eier av disse sekundærdataene. Rådataene fra vegkantstasjonene og sekundærdataene fra Meteorologisk institutt benyttes til analyser og fremstilling av ny informasjon (Behandlede data) som sendes videre til rollen Trafikkdata tjenesteyter, som i dette eksemplet er NRK. Statens vegvesen står som eier av de dataene som Statens vegvesen sender fra seg til NRK som har bruksrett til de behandlede dataene. Trafikkdata tjenesteyter (NRK) bruker de behandlede dataene til å generere meldinger som sendes ut til sluttbruker, i dette eksemplet til bilførere som befinner seg på den vegstrekningen hvor data er samlet inn. Statens vegvesen står som eier av de behandlede dataene som benyttes av Trafikkdata tjenesteyter (NRK i dette eksemplet).

I dette eksemplet sitter altså Statens vegvesen med følgende trafikkdata eierskap og bruksrettigheter:

- Bruksrett til rådata og behandlede data som er samlet inn, behandlet og eiet av Volvo, som igjen har gitt Statens vegvesen bruksretten

- Bruksrett til sekundærdata fra Meteorologisk institutt som eier disse dataene og som har gitt Statens vegvesen bruksretten
- Eierskap til rådata fra egne vegkantstasjoner
- Eierskap til behandlede data som er sendt til Trafikkdata tjenesteyter

Volvo sitter med følgende eierskap:

- Rådata hentet fra kjøretøyene og noen behandlede data. I dette tilfellet kan det være snakk om delt eierskap siden bilføreren i noen tilfeller kan verifisere at data er sanne, f.eks. at kjøretøyet har kjørt i en bestemt hastighet på en bestemt vegstrekning eller at det har vært gjennomført en automatisk og kraftig oppbremsing pga. et hinder i kjørebanen. Dette vil kunne avtales gjennom kjøpsavtalen mellom bileier og bilforhandler.

Meteorologisk institutt sitter med følgende eierskap:

- Sekundærdata om vær- og klimatiske forhold

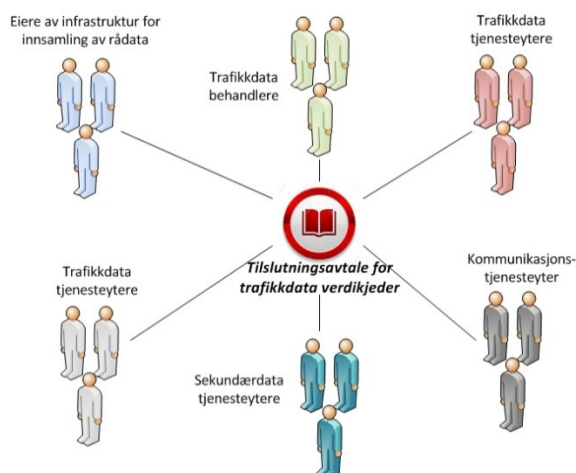
NRK sitter med følgende bruksretter:

- Bruksrett til behandlede data mottatt fra Statens vegvesen

Trafikkdata bruker vil i dette eksemplet ikke eie eller ha eksplisitt bruksrett til trafikkmeldingene. Meldingene fra NRK vil foreligge som informasjon sendt til alle bilførere i det aktuelle området og er en offentlig tjeneste som ikke krever noen avtale mellom bruker og tjenesteyter. En kan imidlertid tenke seg scenarioer hvor bilføreren/bileieren har inngått en avtale med en tjenesteyter om levering av trafikkinformasjon og betaler for denne type tjeneste. I dette tilfellet vil bilfører/bileier ha bruksrett til meldingene gjennom avtalen.

4.6.2 Avtaleverk for trafikkdata

Avtaleverk for å regulere eierskap og bruksrett til trafikkdata kan bygges opp som bilaterale avtaler mellom aktørene i verdikjeden eller som en multilateral tilslutningsavtale for alle aktørene. Bilaterale avtaler kan være en tilfredsstillende løsning med et lite antall aktører, men vil fort eskalere til et komplekst og uoversiktlig avtaleverk med mange aktører. En enklere løsning kan derfor være en multilateral tilslutningsavtale som de ulike aktørene slutter seg til, se Figur 14. En slik avtale beskriver rollene og ansvarsforholdene for de ulike typene aktører som slutter seg til verdikjeden for trafikkdata og hvilke rettigheter og plikter som er knyttet til de ulike rollene. Videre beskriver avtalen hvordan verdiene (trafikkdata) skal distribueres og hvordan de ulike leddene i verdikjeden skal kunne bruke, selge, gi bort, leie ut og destruere trafikkdata og eventuelle betalinger eller avgifter for dette.



Figur 14. Mulig løsning for et avtaleverk for verdikjeder for trafikkdata

Eiere av mobiltelefoner og kjøretøyer vil være eiere av infrastruktur for innsamling av trafikkdata. Disse vil ikke kunne inngå direkte i en tilslutningsavtale, men må indirekte tilknyttes gjennom avtalene med de som vil kunne defineres som trafikkdata-behandlere, f.eks. bilprodusenter og mobiltjenesteleverandører.

4.7 Standardisering

En av forutsetningen for utstrakt bruk av IKT i transportsystemer, og en forutsetning for kompatibilitet mellom ulike IKT-løsninger som inngår i ulike deler av transportsystemet, er standardisering. Begrepet standard er et generelt begrep og har mange ulike betydninger avhengig av i hvilken sammenheng det benyttes. Begrepet standardisering er imidlertid litt mer presist og omfatter aktiviteter som skal ende opp i dokumenter som kan sikre at komponenter, systemer, tjenester, produkter og grensesnitt har den samme kvaliteten og evnen til å samhandle med andre komponenter, systemer, tjenester og produkter. I en slik sammenheng er begrepet standard definert til å være "Standard dokument til felles og gjentatt bruk, fremkommet ved konsensus og vedtatt av et anerkjent organ som gir regler, retningslinjer eller kjennetegn for aktiviteter eller resultatene av dem for å oppnå optimal orden i en gitt sammenheng." ³

Standardisering er meget viktig innenfor alle transportsystemer. Dette gjelder både selve infrastrukturen, det utstyret som brukes for å kontrollere og styre transporten i transportsystemet, de transportmidlene som skal benytte transportsystemet og de førerne som skal styre transportmidlene. Hovedhensikten med standardene er å sikre at de ulike delene av et transportsystem har den nødvendige kvaliteten og sikkerheten slik at transportsystemet kan fungere på en optimal måte både med hensyn til effektivitet, sikkerhet, tilgjengelig og miljøvennlighet. En annen viktig egenskap ved standardisering er at den sikrer utskiftbarhet av komponenter, systemer, produkter og tjenester. Gjennom standardisering av funksjonalitet, tekniske egenskaper og grensesnitt (samhandling med andre) er man sikret at en bruker ikke havner i en leverandøravhengig situasjon (vendor lock-in). Dette har f.eks. vært tilfellet innenfor vegtrafikk og utstyr for å styre vegtrafikken hvor store leverandører har hatt egne produkter og egne grensesnitt mellom produktene som har låst brukeren til en leverandør. Standardiseringen vil gjennom tekniske og funksjonelle krav til objekter og grensesnitt mellom objektene i et system, sikre at et objekt kan skiftes ut uten at dette objektet må leveres av samme leverandør som en gang leverte hele systemet.

³ Definisjonen er hentet fra NS-EN 45020:2006, pkt. 3.2 og ISO/IEC Guide 2:2004, ref. www.standard.no

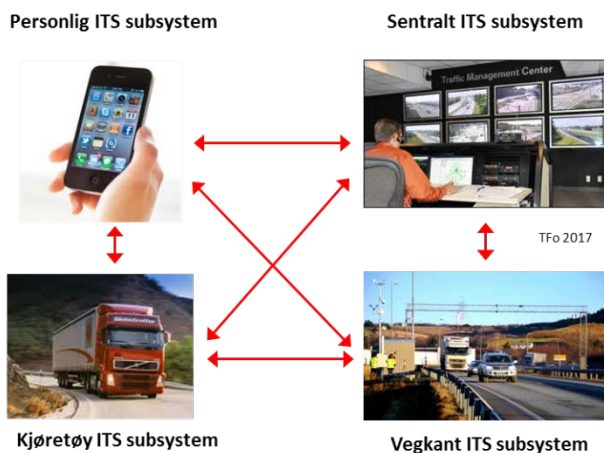
Standardisering skaper tillit til produkter og tjenester. En standard utarbeidet av et standardiseringsorgan, f.eks. ISO og CEN, er fremkommet gjennom et samarbeid mellom eksperter på det aktuelle området. Standardiseringsarbeidet er også basert på konsensus mellom ekspertene. I tillegg til de ekspertene som utarbeidet selve standarden, sendes standarden ut på en høring og avstemming. Gjennom høringsprosessen vil andre nasjonale eksperter kunne komme med kommentarer og dette vil sikre at en standard utarbeidet av f.eks. CEN eller ISO har en høy kvalitet som skaper tillit. Internasjonale standarder for de ulike delene av et transportsystem vil derfor være med å skape tillit til transportsystemet.

Standarder oppmuntrer også til innovasjon og åpner nye markeder for leverandører av produkter og tjenester til transportsystemene. En standard beskriver funksjonelle og tekniske krav til et produkt eller en tjeneste. Konkurransen mellom leverandørene som skal levere i henhold til de relevante standardene vil derfor oppmuntre til innovasjon for å finne smarte og rimelige løsninger som oppfyller standardens funksjonelle og tekniske krav. Standarder vil også åpne nye markeder for leverandører fordi leverandørene ikke trenger å bruke masse ressurser på å utvikle nye produkter og tjenester, men kan gå rett på å finne gode og smarte løsninger for produkter og tjenester som allerede er spesifisert gjennom standarder.

Standarder øker konkurransen og bringer kostnadene ned. Standarder er detaljerte spesifikasjoner for produkter og tjenester. Selv om noen av standardene har flere mulige profiler og valgmuligheter, er standardene presise spesifikasjoner. Ved å bruke standarder som spesifikasjoner i konkurransegrunnlag, vil alle leverandører som har tilpasset seg standardene kunne konkurrere. Dersom kjøper velger å lage spesifikasjonene selv, vil det kunne redusere antall tilbydere og drive prisen oppover. Risikoen for å havne i en leverandøravhengig situasjon øker også vesentlig.

Standarder skal også sikre at en unngår duplisering av innsats for å utvikle nye produkter og tjenester til transportsystemer. En seriøs leverandør som ønsker å utvikle nye produkter og tjenester til transportsystemer vil alltid starte med å se på hva som finnes av standarder og patenter.

Transportsystemer er ofte drevet av offentlige myndigheter. Forskriften for offentlige anskaffelser har klare krav til bruk av standarder ved anskaffelse av produkter og tjenester. For anskaffelser under terskelverdien er det et klart krav at tekniske spesifikasjoner skal gi leverandørene like muligheter og dette kan sikres gjennom bruk av standarder. Det samme kravet gjelder også for anskaffelser over terskelverdien, men her er forskriften enda mer presis med hensyn til grunnlaget for de tekniske spesifikasjonene. Her er nasjonale og internasjonale standarder en viktig basis for de funksjonelle og tekniske spesifikasjonene som skal inngå i konkurransegrunnlaget.



Figur 15. De fire ITS sub-systemene som muliggjør leveranse og bruk av ITS-tjenester på veg

Transportsystemer som anvender IKT for å løse sine oppgaver, omtales som intelligente transportsystemer (ITS). Innenfor slike transportsystemer er standarder meget viktig. Veldig mange av ITS-tjenestene er basert på samhandling mellom de fire ITS sub-systemene som muliggjør levering og bruk av ITS-tjenester, se Figur 15 som viser sub-systemene for vegtrafikk. Innenfor ITS foregår det et omfattende standardiseringsarbeid i CEN TC 278 Intelligent transport systems og ISO TC 204 Intelligent transport systems. Mange av arbeidsgruppene i CEN TC 278 og ISO TC 204 er slått sammen til felles arbeidsgrupper, slik at europeisk og internasjonal standardisering innenfor intelligente transportsystemer er samordnet på en god måte. Standardiseringen omfatter både ITS applikasjonene og kommunikasjonen mellom ITS sub-systemene. I og med at mange ITS-tjenester er basert på samhandling mellom disse fire sub-systemene (kooperativ ITS (C-ITS)), er fortsatt utvikling og bruk av standarder essensiell for at fremtidens transportsystemer skal bli mer sikker, effektiv, miljøvennlig og tilgjengelig.

5 Infrastruktur i transportsektoren

Et transportsystem består av

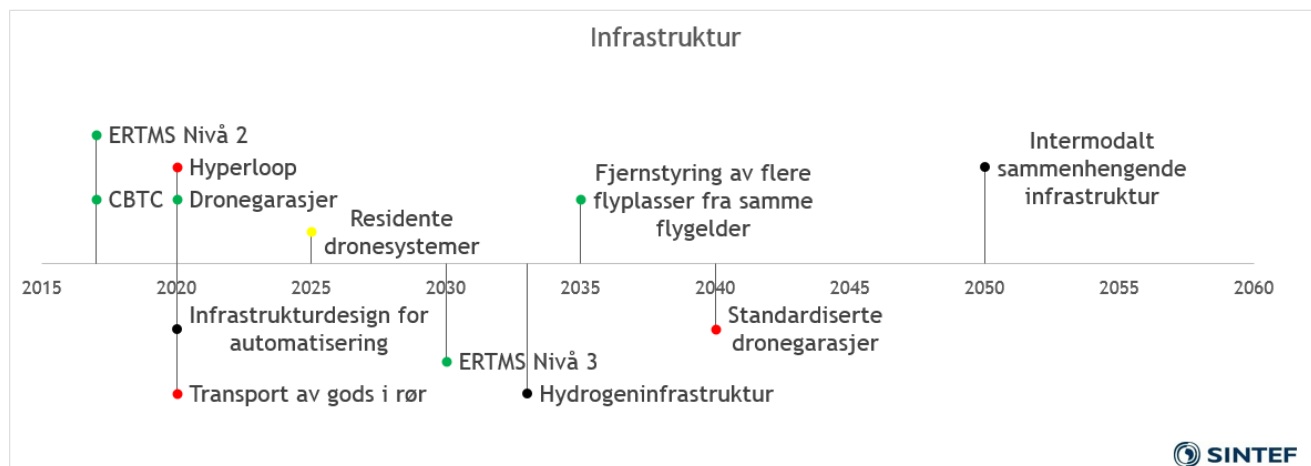
1. Fysisk infrastruktur (f.eks. veg- og banenettverk) som muliggjør forflytning av transportmidler med personer og gods
2. Infrastrukturutstyr (f.eks. skilter og signaler langs infrastrukturen)
3. IKT systemer som brukes til forvaltning, drift og vedlikehold av infrastrukturen og styring av transporten i infrastrukturen. Disse IKT-systemene er ryggraden i intelligente transportsystemer.

Alle elementene i transportinfrastrukturene må planlegges, etableres, opereres og vedlikeholdes på effektive måter, og de digitale tjenestene som støtter dette må etableres og kontinuerlig videreutvikles. Det blir viktig med åpne løsninger som benytter standarder (se kapittel 4.7) som gjør at komponenter og tjenester fra ulike leverandører kan kombineres og byttes ut etter behov. Sikkerhet (cybersikkerhet inkludert – se kapittel 4.5) må ivaretas.

Datainnhenting fra infrastrukturen om tilstander (temperatur, værforhold, seilings-/kjøreforhold, vekt, etc.) og aktivitet i infrastrukturen (transportmidlenes type, fart, tidspunkter for passeringer, etc.) er svært viktig. Datainnhenting vil skje fra sensorer integrert i infrastrukturen, men også i stadig større grad ved elektronisk kommunikasjon med andre systemer. Bilene som kjører på veien har for eksempel en mengde sensorer og kan formidle data om friksjon, temperatur, sikt, etc. fra alle deler av infrastrukturen uten at sensorer må installeres i den fysiske infrastrukturen.

Innhentede data kan benyttes i analyser (inkludert Big Data analyser) som gir kunnskap og læring om både infrastrukturen og transporten. Dette vil i neste runde kunne gi både nye og bedre tjenester (både digitale tjenester og transporttjenester) og mer effektiv drift og vedlikehold av infrastrukturen. Man kan for eksempel lære å forutsi når vedlikehold må gjøres og når utfordringer ved trafikkavviklingen oppstår. Dermed kan man også gjøre tiltak som eliminerer eller reduserer problemer. Slike tiltak vil også kunne automatiseres.

Ny teknologi kan føre til vesentlige endringer i selve infrastrukturen. Dette gjelder spesielt transport på veg og bane hvor f.eks. Hyperloop for transport av personer og gods kan flytte transport fra de eksisterende former for transportinfrastruktur over på et helt nytt transportsystem. Terminaler er også en viktig del av transportinfrastrukturen. Smarte og helautomatiserte godsterminaler kan føre til at det etableres et slags internett for gods, også kalt *Fysisk internett*.



Figur 16. Forventet tidslinje for bruk av teknologier knyttet til infrastruktur

5.1 Smart infrastruktur

Nye sensorer som også kan kommunisere med andre sensorer, med lokale dataknutepunkter og med sentralsystemer vil kunne bidra både til mer riktig og pålitelig informasjon som er tilgjengelig når den skal brukes til å gjøre transportsystemene mer effektive, sikre, miljøvennlige og tilgjengelige for alle typer brukere.

En bil har i dag 60 – 100 sensorer, men en ser for seg en utvikling frem til 2020 hvor en ny bil har opp mot 200 sensorer⁴. Informasjonen fra disse sensorene brukes både til kontroll av kjøretøyet, f.eks. sikkerhetsmekanismer som ABS, og til vedlikehold av kjøretøyet. Trenden innenfor sensorteknologi i transportmiddelet er at mer og mer data distribueres i sanntid til produsenten av transportmiddelet og til den som driver transportsystemet. Denne informasjonen brukes både av ITS-tjenester som f.eks. unngåelse av kollisjoner, til overvåking av transportmiddelets status og til å håndtere vedlikeholdet av transportmiddelet. Både ny sensorteknologi og bedre kommunikasjonsløsninger vil gjøre slik anvendelse av informasjon fra transportmiddelet enda mer utbredt. Både fører av transportmiddelet, eier og vedlikeholder av transportmiddelet og operatør av transportsystemet vil få tilgang på ny informasjon som vil bidra til en sikrere og mer effektiv transport og utnyttelse av transportsystemet.

Det vil også komme flere og bedre sensorer på gods som transporteres av de ulike transportmidlene, såkalt intelligent gods [Dreyer & Foss, 2012]. Sensorene på godset vil bl.a. kunne overvåke godsets status og sende alarmer til vareeier/varemottaker om uregelmessigheter, f.eks. dersom godset blir utsatt for temperaturer eller støt utenfor akseptabelt område eller dersom godset registrerer at det er utenfor planlagt rute og tidsplan.

Sensorer i blant annet infrastruktur som kommuniserer med resten av banenettet, tog og baksystemer vil i nær fremtid kunne endre måten togtransport gjennomføres på. Gjennom kommunikasjon med sensorer og satellitter vet toget selv hvor det befinner seg og hvor det skal kjøre. Interkonnektivitet gjør at toget selv vil tilpasse fart til situasjonen på linjen. Toget vil videre kontinuerlig overvåke hvorvidt togsettet er fullstendig og avdekke om noe ikke stemmer. Det betyr

⁴ <http://www.automotivesensors2017.com/>

at mye tradisjonelt utstyr blir overflødig, og at annet utstyr (f.eks. sporskiftere) blir selvdrevne, elektriske løsninger.

Sensorer langs toglinjen vil videre kontinuerlig overvåke og rapportere tilstand på skinner og utstyr, slik at forebyggende vedlikehold kan gjennomføres. Dette optimerer pålitelighet og tilgjengelighet⁵.

Felles for datainnsamling fra infrastruktur, transportmidler og utstyr i tilknytning til infrastrukturen er at data vil kunne brukes i læring og styring av transporten i transportsystemet. Ny sensorteknologi og nye effektive kommunikasjonsløsninger vil gjøre at transportsystemene vil bli instrumentert som Internet of Things (IoT) hvor innsamlede sensordata og data fra overvåkings- og styringsprosesser blir brukt til både å forutse uønskede hendelser og til å støtte operatørene i deres håndtering av uønskede hendelsene på en sikker og effektiv måte.

5.2 Fjernstyrte kontrolltårn

Trafikken på en flyplass ledes tradisjonelt av personell som er tilstede på flyplassen, gjerne i et kontrolltårn. Kontrolltårnene har vært bemannet med skiftpersonell og er forholdsvis personellkrevende tatt i betraktning ofte et lavt trafikknivå. Land som har mange og til dels små flyplasser, slik som for eksempel Norge, har over noen år testet hvordan flytrafikken på slike flyplasser kan fjernstyres fra en sentral som er lokalisert på et annet sted enn flyplassen. Teknologien har i utgangspunktet vært basert på overføring av et todimensjonalt videobilde fra kameraer som er utplassert på flyplassen. Hittil er en flyplass i Sverige sertifisert for operativ fjerndrift av trafikken fra en annen lokasjon.

I dag har flygeledere og fullmektiger vanligvis godkjenning til å drive trafikken kun på den flyplassen hvor de er lokalisert. Ved å fjernkontrollere trafikken fra et senter vil en i fremtiden sannsynligvis kunne lede trafikken på flere flyplasser i løpet av sitt skift. I tillegg til innsparinger ved å bruke personellet til å kontrollere flere flyplasser samtidig vil en redusere behovet for å bygge nye kontrolltårn der hvor det er nødvendig.

Konseptets potensiale ligger i muligheten til å kontrollere flyplasser med større trafikkmengder og kontrollere flere flyplasser samtidig. Dette ligger noen år frem i tid. I tillegg vil en kunne dra nytte av et sterkere fagmiljø ved at det er flere som jobber ved et kontrollsenter enn det er ute ved den enkelte flyplass. Opplæring og trening vil også kunne gjennomføres mer effektivt, samt at en ser nytte av å kunne bruke denne teknologien til å bygge opp flere beredskapstårn/beredskapskontrollsentre for operasjoner under og etter hendelser.

5.3 Satellittbasert kommunikasjon og navigasjon

Radiosignaler har blitt benyttet i luftfarten både til kommunikasjon og navigasjon siden tidlig i transportformens barndom. Etter hvert som at luftfarten har økt i omfang, og at andre områder også har lagt beslag på tilgjengelig kapasitet, spesielt i VHF/UHF båndet, har en sett etter andre former som kan erstatte den tradisjonelle bruken av radiosignaler. Bruk av satellitt vil innen få år kunne ta over mye av trafikken og yte service både innen kommunikasjon og navigasjon. Dette vil ikke bare øke mulig kapasitet men også redusere behovet for kostbare bakkeinstallasjoner som er forbundet med tradisjonell infrastruktur.

Indra Navia har utviklet og produserer instrumentlandingssystemet ILS (Instrument Landing System). Bedriften er norsk og er verdensledende innen slike systemer. Teknologien har blitt utviklet over mange årtier, i samarbeid med universitet (NTNU) og forskningsinstitutt (SINTEF). Indra Navia

⁵ Eksempel fra Thales (2015): Future Railway Signalling: A scenario for 2033

er nå i front i verden når det gjelder å utvikle neste generasjon landingssystem; Ground Based Augmented System (GBAS). Dette systemet er satellittbasert og kan redusere behovet for bakkeinstallasjoner og samtidig blant annet tilrettelegge for kurvede innflygninger til flyplasser, noe som gir økt kapasitet og sparer miljøet. Systemet er forventet tatt i bruk med full kapasitet etter 2020.

5.4 Infrastrukturdesign for automatisering

For å best mulig utnytte potensialet i droner og robotikk bør infrastrukturen som dronene/robotene skal operere på/i være tilpasset deres operasjoner. Dette kan kalles design for automatisering og gjelder for hele livsløpet til infrastrukturen, både i byggefase, driftsfase og avviklingsfase. Slike tilpasninger gjøres allerede til en viss grad, men det uforløste potensialet innen design for automatisering er fortsatt stort. Man kan anta at infrastrukturen i fremtiden i enda større grad vil være fysisk tilpasset slik at roboter enklere kan operere i den, i tillegg vil infrastrukturen i større grad la roboter og droner kommunisere elektronisk med den (f.eks. for å åpne dører, lese ut informasjon osv.).

Dronegarasjer er infrastruktur hvor droner kan oppholde seg mellom oppdrag uten at dronen må flyttes med menneskelig manuell hjelp inn og ut. Slike garasjer vil typisk som et minimum inneholde mulighet for at en eller flere droner av gangen kan fylle på energi (f.eks. lade eller bytte batteri) og eventuelt funksjonalitet for å bytte ut dronens nyttelast. Etterhvert vil det komme mer avanserte garasjer som vil kunne utføre vedlikehold på dronene. I fremtiden kan man også tenke seg at det vil komme standarder for slike garasjer slik at droner fra forskjellige leverandører kan benytte samme garasje. Erfaringsmessig vil slik standardisering imidlertid være tidkrevende.

5.5 Transport av gods i rør

Rørsystemer har lenge vært brukt til transport av væske og gass, men har ikke vært like vanlig for transport av solide materialer. Inntil nylig har eksisterende systemer for transport av solide materialer i rør vært pneumatisk og gått over relativt korte distanser. For eksempel, intern rørpost (brukes blant annet på St. Olavs i Trondheim) og automatisk søppelsamling (Bergen og Stockholm). Med et økende behov for å få godstransport bort fra vei, og en rask utvikling i graden av automasjon i varehus og lager, er det nå stadig økende interesse i å utvikle en rørinfrastruktur for transport av varer på medium og lengre distanser. De nye transportløsningene er alle førerløse og elektrisk drevne. Fordelen med disse systemene er at de kan redusere belastningen på vei, bruker velkjent teknologi, har svært lav operasjonskostnad, stor grad av fleksibilitet for transportør og mottaker, og siden de foregår i lukkede systemer er de ikke avhengig av å vente på at kjøretøy skal bli fullt autonome. Slike løsninger er demonstrert og prosjektert for transport av blant annet containere (California, Singapore) og for pallete transport (UK, Tyskland, Sveits med flere).

5.6 Hyperloop

Hyperloop er en spesiell form for høyhastighets-rørtransport av passasjerer og gods. Systemet baserer seg på magnetisk levitasjon (maglev) eller luftputer, hvor transportkapslene ("podder") beveger seg i et VacTrain rørsystem (lavt lufttrykk, nær vakuum). Energooverføringen skjer ved hjelp av en lineær induktiv motor. Den lave friksjonen gjør at kapselen kan nå hastigheter opp mot 1200 km/t. Ved 1000 km/t vil energibruket være kun 3kW. Pga. den høye hastigheten egner Hyperloop seg kun for transport over lengre distanser. Systemet er avhengig av rette strekningen med stor radius, noe som for norske forhold betyr at systemet må installeres i

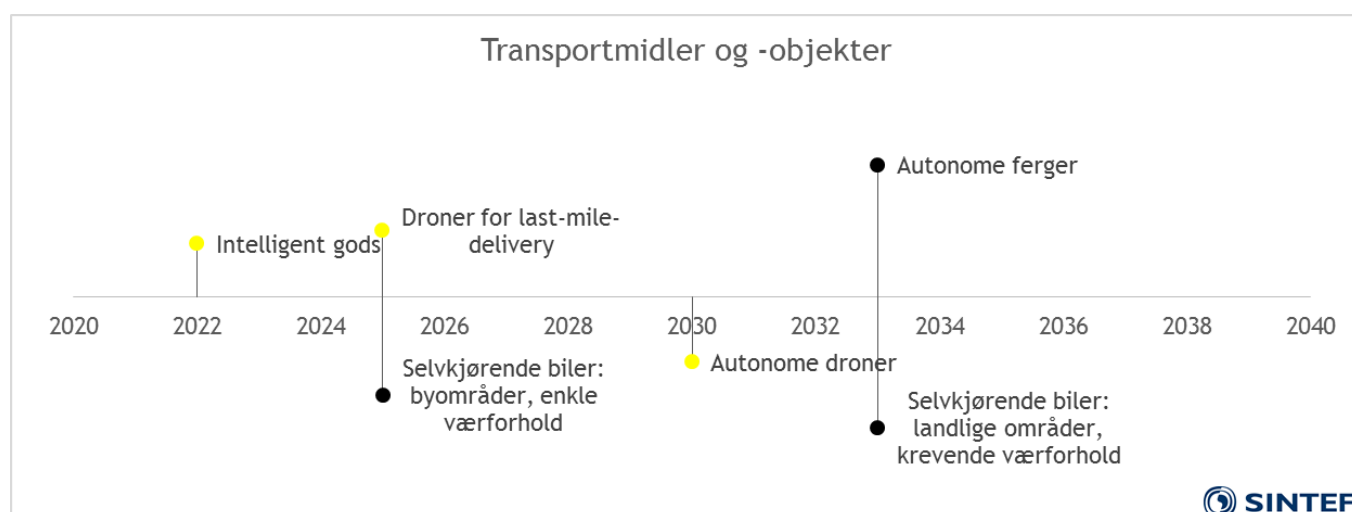
tuneller. Hyperloop utredes nå i mer enn 20 steder rundt om i verden, blant annet i Sverige, Finland, Frankrike, Canada, Saudi-Arabia, USA og Singapore. Det første fullskala testanlegget (DevLoop) er nå operativt i Las Vegas, USA. TransPod og Hyperloop Technologies, to av flere Hyperloop selskaper på markedet, anslår at det første systemet er kommersielt operativt i 2020 - 2025.

Det er stilt spørsmål om Hyperloop kan være en realistisk transportinfrastruktur for norsk topografi, men det er også initiativ på gang for å lage billigere tuneller med mindre diameter, hvilket kan gjøre Hyperloop aktuelt i fremtiden. Hyperloop er imidlertid fortsatt i startgropen. Det er flere utfordringer for Hyperloop-konseptet i tillegg til de tekniske utfordringene. Det krever en svært rett linje, slik at logistikk og topografi blir utfordrende for politikerne. Store deler av strekningen må trolig legges i tunnel i Norge. Innen 2033 er det mulig at det fins en testbane for Hyperloop i Norge, som blant annet kan være relevant i forbindelse med transport av fisk. Hva man har i 2060 kan man bare spekulere i, da det er vanskelig å si hvor vellykket Hyperloop blir før praktiske tester utføres de neste 3-5 årene.

6 Transportmidler og transportobjekter

Ny teknologi kan anvendes til å utvikle nye transportmidler som kan endre både tilbud og etterspørsel av transporttjenester i fremtiden. På veg vil selvkjørende biler kunne ha et stort potensial med hensyn til sikker og effektiv avvikling. Videreutvikling av elektriske kjøretøyer vil også kunne endre reisevaner for personer og transport av gods. Denne videreutviklingen gjelder ikke bare personbiler, men også næringskjøretøy og andre elektriske kjøretøyer, f.eks. el-sykler. Flyvende biler er fortsatt tidlig i utviklingsprosessen, men det er bygget prototyper som viser at kombinasjonen bil/fly kan være et fremtidig transportmiddel som kan ha effekt på lengre sikt. Droner er på vei inn i godstransporten og vil kunne endre first og last mile leveranser av gods. Droner kan også brukes til automatisk overvåking av infrastruktur, f.eks. på spesielle ras- og flomutsatte områder. Innenfor bane skjer det også en utvikling innenfor høyhastighetstog som på sikt kan endre tilbud og etterspørsel både innenfor person- og godstransport.

Intelligent gods hvor godset bærer med seg informasjon om hva det er, hvilke krav det setter til transporten, hvor det skal og hvor godset også kan overvåke sin egen transport og sende alarmer og meldinger ved avvik vil også kunne medvirke til en mer effektiv og sikker godstransport.



Figur 17. Forventet tidslinje for bruk av teknologier knyttet til transportmidler og transportobjekter

6.1 Autonome droner

De siste fem årene har det vært en rivende utvikling innen droneteknologi. Dette skyldes en kombinasjon av teknologiutvikling og et kraftig prisfall på sensorer og beregningskraft. Droner (herunder ubemannete fartøy i luft, til vanns og på land) forventes å kunne ha en betydelig rolle innen drift og vedlikehold av transportinfrastruktur. Droner har de siste par årene blitt utredet for forskjellig bruk i transportsektoren.

Autonome droner vil i fremtiden kunne operere trygt med svært liten risiko for uønskete kollisjoner i både delvis trange og åpne omgivelser. Små og mellomstore droner (f.eks. take-off-vekt < 25 kg) vil i større grad kunne operere autonomt i vanskelige værforhold med vind, regn og snø. Enkeltdroner og samarbeidende droner vil kunne gjennomføre løft og håndtering av objekter, f.eks. sette sammen objekter, skru inn skruer osv. Det gjøres allerede tester med droner (herunder luft- og bakkegående fartøy) som gjør last-mile-delivery. Når teknologien er moden nok, og så fremt at regelverket åpner for det, vil droner i lufta og på bakken kunne

gjennomføre last-mile-delivery i større skala. Droner som kjører autonomt i forkant av f.eks. skip og tog vil kunne gi tryggere transport fordi dronen kan oppdage f.eks. dyr eller ras på togsjennene.

Tobeinte og firebeinte roboter – gående roboter⁶ som er en form for mobile roboter – vil kunne håndtere stadig mer krevende terreng og utføre stadig mer komplekse håndterings- og manipuleringsoperasjoner. Konkurranser slik som "DARPA robotics challenge" har vist gående roboter som, riktig nok i nokså langsom hastighet og med relativt mange feilhendelser, kan kjøre bil, skru ventiler, operere elektriske verktøy, klatre stiger, m.m. Firbeinte roboter forventes å kunne håndtere skogsterreng slik som smale stier hurtig og effektivt i 2025-2030. Gående roboter som kan håndtere omgivelser og verktøy som i hovedsak er designet for mennesker forventes å ha en gradvis utvikling fremover hvor robotene vil være i stand til å håndtere stadig mer komplekse operasjoner. Utvikling vil trolig vise seg ved at bl.a. robotene får en større grad av fingernemhet og dermed kan gripe og håndtere både små og store objekter, skru på/av lokk, osv.

6.2 Autonome fly

Tradisjonelle fly innen persontransport og transport av større gods beveger seg også mot autonomitet. I dag er det autopiloten som styrer flyet minst 95% av tiden på en gjennomsnittlig flygning. Det er to viktige faktorer som kan føre til at man fjerner piloten(e) fra cockpit. Først og fremst er en slik utvikling avhengig av en normalisering av folk flest sitt forhold til ubemannet transport. Etterhvert som selvstyrte biler og båter blir mer eller mindre hverdagslig, vil skrittet til autonome fly ikke oppleves som like dramatisk som i dag. I tillegg så nærmer man seg et punkt der pilotene ikke lenger bidrar positivt til flysikkerheten. De siste 30 år har brakt med seg "fly-by-wire" og stor økning i automatiske løsninger ombord som resulterer i piloter som ikke lenger er like fysisk involvert i flyvningen og ikke lenger må være like oppmerksomme. Resultatet er en reduksjon i grunnleggende "hand-flying skills" og i "flight-crew awareness". Man vil dermed ha mindre forutsetninger for å kunne redde seg ut av situasjoner hvor (deler av) automatikken feiler. En antar at autonome fly tas i bruk mellom 2040 og 2050.

6.3 Autonome skip og ferger

Interessen for autonome skip startet med MUNIN-prosjektet⁷ (2012-2015). I løpet av 2013 og 2014 lanserte så DNV GL Revolt og Rolls Royce sine konseptskip. Etter hvert har det kommet til flere konsept og initiativ, spesielt fra Nord-Europa og Sør-Øst Asia. Interessen for autonome skip er selvsagt knyttet til utviklingen innen droner i luften og autonome biler, men skipstransport har egenskaper som gjør dem spesielt interessante for selvstyrte farkoster:

- Skip er relativt langsomme og opererer stort sett i områder som gir god fleksibilitet for planlegging av reisen. Dette forenkler problemet med automatisk styring.
- Skip er store og investeringer i automasjon er en relativ lav del av totalkostnaden.
- De frakter stort sett gods og det gir færre sikkerhetsmessige utfordringer enn for passasjerer, spesielt når det heller ikke er mannskap om bord.
- Reisene er lange og gevinstene med å fjerne mannskap kan bli betydelige.

⁶ I og med at gående roboter er en form for mobile roboter / bakkegående fartøy så tar vi dette med her under kapitlet som omhandler droner siden et bakkegående fartøy er en form for drone.

⁷ <http://www.unmanned-ship.org/munin/>

Det er også andre egenskaper som gir gode argumenter for å gjøre skip autonome og ubemannede, selv om det også er en del hindringer som vi kommer tilbake til senere i avsnittet. Man kan allikevel argumentere for at autonom skipstransport kanskje er mer interessant enn autonome biler, i alle fall i Norge.

Autonomi på skip vil komme i forskjellige former avhengig av hvor automatisert skipet er og hvor eventuelt støttepersonell er plassert. Noen av de viktigste formene er:

- Automatisk bro: Skipet kan seiles automatisk, men med besetning tilgjengelig på broa. Dette er aktuelt for ferger og andre skip i korte ruter hvor optimalisering av forseiling er hovedtema.
- Periodisk ubemannet bro: Automatisert bro som kan håndtere relativt enkle operasjoner som for eksempel seiling på åpent hav i godt vær. Mannskapet kan gjøre andre oppgaver eller ha sovende bakvakt.
- Periodisk ubemannet skip: Skipet seiler ubemannet, men overvåket av et kontrollrom, for eksempel ved seiling over åpent hav. Mannskap kommer om bord for å ta skipet til eller fra havn.
- Kontinuerlig ubemannet skip: Skipet er alltid ubemannet, men overvåkes kontinuerlig av et kontrollrom. Skipet har begrensninger i hva det kan gjøre på egen hånd, så kontrollrommet griper inn i mer kompliserte situasjoner.

Graden av autonomitet kan være forskjellig i alle disse tilfellene, men vil normalt være begrenset. De mest aktuelle nivåene er:

- Automatisk: Full-automatisk operasjon for en spesifikk funksjon, for eksempel dynamisk posisjonering eller styring inn til kai. Dersom hindringer eller andre problemer oppdages så vil operasjonen avbrytes og operatøren må umiddelbart overta. Dette er for eksempel aktuelt for automatisk overfart og for å legge til kai for en bilferge.
- Begrenset autonom: Helautomatisk for mer generell forseiling hvor vanlige problemer kan behandles av automatikken. Systemet har begrensninger i hva det kan gjøre, for eksempel i avvik fra planlagt reise, og må tilkalle operatør dersom problemer ikke kan løses innen spesifiserte begrensninger. Her tillates det en viss forsinkelse før operatøren griper inn.

Høyere nivå av autonomitet er ikke normalt så aktuelt. Skip er kostbare enheter og har stort skadepotensiale hvis noe går galt, så det er lite ønskelig å fjerne kontinuerlig overvåkning. Sett fra regelverkssiden er også kontinuerlig overvåkning enklere, siden man får en person som tilsvarer en kaptein, og kan bruke "ekvivalente" løsninger der regelverket krever at en kaptein tar aksjon eller er til stede.

Noen mer eller mindre konkrete prosjekter som kan være av interesse i konteksten av denne rapporten er kort beskrevet i det følgende. Ellers vil web-sidene til NFAS (Norsk Forum for Autonome Skip)⁸ inneholde en oppdatert liste over prosjekter og initiativ i Norge og til dels i utlandet.

Automatisk bilferge: Rolls Royce har utviklet et system som skal ta over kryssingen av fjorder med batteriferge. Dette systemet vil ikke bare operere automatisk men også spare energi. Det er fortsatt mennesker

⁸ <http://nfas.autonomous-ship.org/>

som skal legge til og fra kai, men kan ses på som et skritt på veien til helautomatiserte ferger. Planen er at Fjord1 skal ta i bruk systemet i januar 2018. [Teknisk Ukeblad, 2016].

Fleksible og delvis ubemannede bilferger: Bilferge-samband kan kanskje lages mer fleksible med hensyn på frekvens og kapasitet ved å bruke en kombinasjon av bemannede og ubemannede ferger. Flere ubemannede ferger kan settes inn i trafikktopper, eller fergene kan kjøres vekselvis i blanding av autonom og bemannet for å øke frekvens. En utfordring er passasjersikkerhet, men dette kan kanskje løses ved minimum sikkerhetsbemanning eller ved å bruke konvoiløsninger hvor en bemannet ferge er i nærheten i nødstilfelle.

Autonom tilkallingsferge til småsamfunn: En del småsamfunn er avhengig av båttransport for folk og biler. Her kan det være interessant å se på ubemannede ferger som kan tilkalles ved behov. På grunn av persontransport må man også her gjøre spesielle tiltak, men for små samfunn kan dette antagelig bestå av å gi et antall innbyggere spesialopplæring på å betjene sikkerhetsutstyr. En av disse må da alltid være med fergen. Fergen kan i prinsippet opereres gjennom hele døgnet og uavhengig av helligdager.

Ubemannet kortdistanse skipstransport: Et eksempel på dette er Yara Birkeland som skal gå i fast trafikk mellom tre terminaler. Dette gir gode muligheter til å begrense og avskrive infrastrukturkostnader som ellers kan være begrensende for autonom skipstransport. Et annet prosjekt utvikler tilsvarende konsepter for bruk i grus- og tømmertransport i Trondheimsfjorden (ASTAT). Dette er mer generelt og ser på en svært vanlig form for bulktransport. Alle disse konseptene er i hovedsak rettet mot å reetablere skipstransport som et bedre transportalternativ enn bil og redusere utslipp av klimagasser. Konseptene gir også fordeler ved å redusere støy, støv og generell belastning på veinettet.

Effektivisert kysttransport: Varianter av autonome kortdistanseskip kan brukes i integrerte transportkjeder for kysttransport. Her kan man for eksempel sette opp større og bemannede skip i hurtige og høykapasitets kyststruter med relativt få havneanløp, hvor ubemannede skip tar transporten fra hovedhavnene til mindre kaier i fjordene og langs kysten. Dette vil kreve automatisk omlasting og ny infrastruktur. Deler av denne infrastrukturen kan faktisk komme av seg selv i forbindelse med elektrifisering av bilfergene hvor man vil trenge automatisk fortøying- og landstrømløsninger som også kan brukes av lasteskip, for eksempel på nattestid.

Eksempelene over dekker i hovedsak mindre skip i nasjonale transportsystem. På grunn av regelverk og teknisk kompleksitet er dette relativt "lavhengende frukter" hvor forretningsmodellene er nokså opplagte. I internasjonal og interkontinental trafikk er det andre forhold som kan være litt mer utfordrende. Et betydelig problem er å bygge skip som kan seile i flere uker uten at mennesker er tilgjengelig for drift og vedlikehold. Sannsynligvis vil dette bety at disse skipene ikke kan bruke tungolje som drivstoff, men må bruke dyrere diesololje eller kanskje LNG. Man vil også trenge mer redundans i fremdrift som betyr at man må gå fra en stor og mer effektiv maskin til to mindre og vanligvis mindre effektive. Siden drivstoff er en stor andel av driftskostnadene for større handelsskip så blir dette en utfordring. På den annen side er det viktig å notere seg at autonome skip ikke er konvensjonelle skip uten mannskap. Autonome og ubemannede skip gir helt andre muligheter for å lage nye skipsdesign og dermed helt nye forsyningstjenester som totalt sett er mer effektive enn dagens. Det er derfor vanskelig å spå noe som helst annet om fremtiden enn at den blir annerledes enn dagens situasjon. Vi ser dette allerede ved at nye aktører kommer inn i skipstransport. Et eksempel er Yara

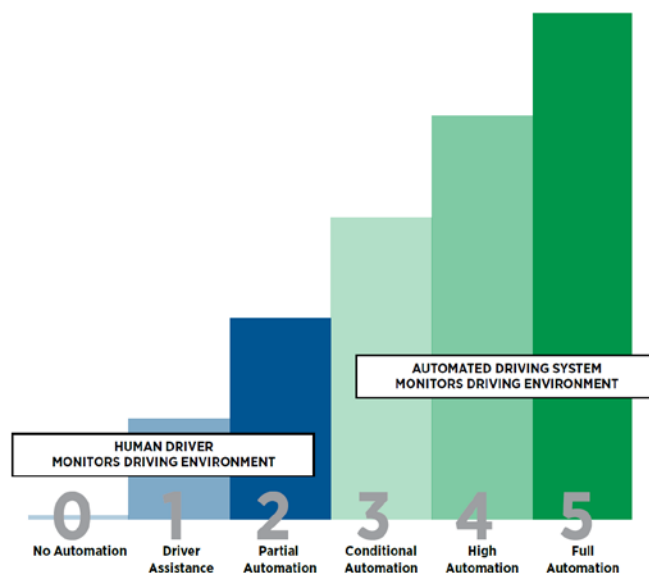
Birkeland hvor det var vareeieren Yara som tok initiativet til å utvikle et ubemannet skipskonsept for transport av gjødsel.

6.4 Autonome biler

Selvkjørende (eller automatiserte) biler finnes allerede, men det er i de fleste tilfeller en person bak rattet som er ansvarlig for å ta over kjøringen ved behov, og bilene er ikke testet i like stor grad i alle kjøreforhold (f.eks. is og snø). Viktige aktører innen selvkjørende biler har ulik oppfatning av når vi vil se helautonome selvkjørende biler uten at det er behov for en person som skal kunne ta over kontrollen – typisk fra 2019 til 2025. Selvkjørende biler som håndterer også krevende vær- og føreforhold vil være i operasjon på lengre sikt. Det er annonsert at fra 2018 vil det være kommersielt tilgjengelige selvkjørende biler på nivå 3⁹. Se Figur 18 og Figur 19 for beskrivelse av nivåene for automatisering av biler. Disse nivåene er også utgangspunktet for nivåene som nevnes i forslag til lovgivning om utprøving av selvkjørende kjøretøy på veg nevnt i kapittel 4.2.2. Nivå 3 innebærer at bilen ikke vil stille krav til at føreren skal trenge å følge med trafikken i enkelte scenarioer (kravene er bl.a. maks 60 km/h, og fysisk skille mellom kjøreretningene), men føreren må likevel være klar til å ta over bilen ved behov. Hvorvidt det faktiske vil være *lov* for bilføreren å ta hendene av rattet og ikke følge med på trafikken vil avhenge lovgivningen i hvert enkelt land.

Relaterte applikasjoner inkluderer bruk av selvkjørende biler som opererer i formasjon slik som for eksempel ved autonom brøyting av flyplasser. Teknologi fra selvkjørende biler vil også kunne åpne for økt grad av automatisering på bl.a. gaffeltrucker og gravemaskiner.

Selvkjørende biler vil kunne åpne for nye bruksmønstre og forretningsmodeller, bl.a. innen deling av bil og leiebil.



Figur 18. Nivåer av autonomi for biler. Copyright: SAE International, J3016

⁹ Audi med "traffic jam pilot" på nye biler: <https://techcrunch.com/2017/07/11/audis-new-a8-will-have-level-3-autonomy-via-traffic-jam-pilot/>

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
Human driver monitors the driving environment						
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system ("system") monitors the driving environment						
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an automated driving system of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes

Figur 19. Beskrivelse av autonomnivåer. Copyright: SAE International, J3016

Konsulentfirmaet Strategy Analytics har forutsett at virkningen på den såkalte passasjerøkonomien når autonome kjøretøy uten fører er verdensomspennende og står for omlag 50 prosent av alle solgte kjøretøyer. De regner med dette vil skje i tidsrommet 2035-2050.

Passasjerøkonomien vil stimulere verdiskaping gjennom MaaS og andre nye mobilitetstjenester, samt gjennom nye applikasjoner og tjenester samt redusere tid og kostander forbundet med bruk av kjøretøy. Strategy Analytics finner at autonom kjøreteknologi vil bidra til at verdien av passasjerøkonomien når 7 trillioner amerikanske dollar i 2050. Den vil drive frem endringer i en rekke industrier, omplassere eierskap til kjøretøy gjennom MaaS og skape et nytt landskap for bildeling og sjåførtjenester. Autonome kjøretøy vil også gi førerløse alternativer innenfor eksempel varelevering og langtransport¹⁰.

6.5 Autonome tog

Autonomi vil i økende grad dominere togbransjen. Det har allerede vært i bruk innen bybaner, men der er det enklere da de har bygget korridorer som dyr og mennesker i utgangspunktet ikke har tilgang til. Skal man operere autonome tog der linjene vanligvis ikke er i en lukket korridor så blir dette betydelig mer utfordrende og krever flere sensorer og mer kompleks programvare. I Australia har Rio Tinto prøvd å utvikle et slikt system de siste årene uten å komme i mål. Det begrunnes med utfordringer i forbindelse med den komplekse

¹⁰ <https://newsroom.intel.com/newsroom/wp-content/uploads/sites/11/2017/05/passenger-economy.pdf>

programvaren som må utvikles. Likevel har de et håp om å få dette ferdig i løpet av 2018. Dette transportsystemet muliggjør nøyaktig rapportering av nestenulykker og inkluderer informasjon som muliggjør hendelsesundersøkelser, noe som gjør at de kan forbedre togtransporten kontinuerlig. Andre steder kan man ha større utfordringer blant annet på grunn av forskjellig signalsystem langs linjen og mer tettbebygde strøk.

Utviklingen av autonome tog er sterkt linket til utviklingen av autonome biler og båter. Forskning og innovasjon innen dette området har nærmest eksplodert de siste to årene, så man kan forvente seg en sterk utvikling for alle bransjene, inkludert tog, da mange av utfordringene er like.

UNISIG brukergruppen [EUG 13E137] har utarbeidet en inndeling for de forskjellige gradene av automatisering. Deler av tabellen er fritt oversatt til norsk nedenfor:

Grad av automatisering	Navn	Togoperatør
1	Ikke automatisk tog	Togoperatør i førerhuset
2	Halvautomatisk tog	Togoperatør i førerhuset
3	Førerløs tog	Togoperatør i toget
4	Ubevoktet tog	Ingen ombord i toget som er i stand til å kjøre toget

Figur 20. Beskrivelse av autonomnivåer for tog

Foreløpig har man ikke spesifisert ferdig arkitekturen for grad 3 og 4.

SNCF i Frankrike har mål om å ta i bruk autonome tog som vil operere langs høyhastighets TGV-linjene innen 2023. Foreløpig ser de for seg at togoperatører på kort sikt vil være ombord for å takle nødsituasjoner og uventede hendelser. Disse linjene har likheter med korridorene man har for bybaner hvor man bruker automatiske tog. Det er grunn til å tro at man allerede i 2030 kan ha muligheten for å ta i bruk autonome tog, også på andre linjer.

6.6 Intelligent gods

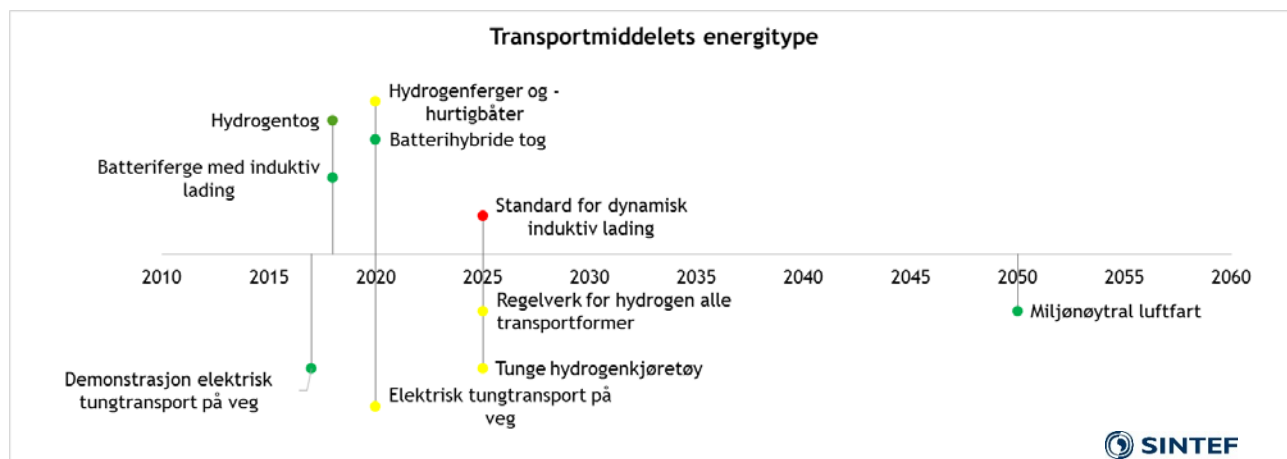
Mye av godstransporten i dag er basert på at informasjonen om godset er lagret i sentralsystemer og på papir. Informasjon som er digitalt lagret kan sendes mellom disse sentralsystemene, f.eks. fra en godsterminal til en annen, eller brukeren av transporttjenesten, f.eks. vareeier eller varemottaker, kan få tilgang til de ulike sentralsystemene. Konseptet *intelligent gods* innebærer at godset selv bærer med seg all informasjon knyttet til den aktuelle transporttjenesten, f.eks. hva godset består av, hvor det kommer fra og hvor det skal og hvilken rute og transportmidler det skal benytte. Det betyr at denne informasjonen kan leses ut hvor som helst i transportkjeden og behovet for å lagre denne informasjon i flere systemer forenkles vesentlig. En ser for seg flere nivåer av intelligent gods [Dreyer & Foss, 2012]. Det laveste nivået omfatter gods som bare bærer med seg den mest nødvendige informasjonen som kan leses av alle i transportkjeden. Det øverste nivået omfatter gods som kan overvåke seg selv både med hensyn til sin egen tilstand og den planlagte ruten. Ved avvik fra definerte grenseverdier for f.eks. temperatur, fuktighet og støt, kan godset sende ut alarmer om dette til vareeier og/eller varemottaker. Ved avvik fra planlagt rute kan godset sende alarmer og eventuelt selv ta avgjørelser med hensyn til videre rute og transportmidler. Ved store forsinkelser kan f.eks. godset endre målet og ruten videre ut i fra forhåndsdefinerte scenarioer. På det øverste nivået kan også vareeier eller varemottaker

kommunisere direkte med godset og få statusmeldinger og alarmer eller legge inn nye destinasjoner, ruter og transportmiddel. Intelligent gods knyttes også opp mot begrepet "Fysisk internett" som nevnt i kapittel 5.

Basisteknologien som må benyttes er allerede tilgjengelig, men ikke utviklet og optimalisert for denne bruken. Det som mangler er først og fremst et organisatorisk og administrativt rammeverk, internasjonale standarder og ulike former for verdinettverksmodeller som gjør det attraktivt å implementere konseptet i godstransporten. I løpet av 2022 – 2027 bør både teknologi og rammeverk være tilgjengelig og operativt. Etterspørsel og et bærekraftig verdinettverk vil være de viktigste driverne.

7 Transportmiddelets energitype

Utviklingen innenfor bærekraftig energi innen transport vil påvirke fremtidig infrastruktur og transportmidler. Elektrisitet lagret i batterier og/eller tilført kjøretøyene gjennom infrastrukturen som induktive ladesystemer i vegbanen og kjøreledninger over kjørefeltet og skinnegang forventes å bidra til merkbare endringer med hensyn til bærekraftig transport. Utvikling i bruk av hydrogen som energitype vil også påvirke fremtidig transport.



Figur 21. Forventet tidslinje for bruk av teknologier knyttet til transportmidlets energitype

7.1 Kjøretøy med ny drivstoffteknologi

Elektrifiseringen av transport på veg har startet, og i tillegg til batteridrevne privatbiler finnes det allerede kommersielt tilgjengelige varebiler, busser og lette lastebiler med ren batteridrift og akseptabel rekkevidde for transport i byområder. I tillegg foregår det en rask utvikling av hybride løsninger med ulik grad av energilagringskapasitet ombord, og ulike muligheter for å utnytte energi fra kraftnettet (dvs. plug-in-hybride løsninger). For tungtransport og transport over lengre avstander, foregår det også en rask utvikling av ulike teknologiske løsninger.

I løpet av det nærmeste tiåret forventes lansering av en rekke kjøretøy der ny drivstoffteknologi tas i bruk. I Tyskland jobber man med typegodkjennelse av hydrogendrevne regionale passasjeretog, som forventes tatt i bruk i løpet av 2018. Opp mot 100 togsett er bestilt, disse rulles ut fortløpende. En tidligere studie gjort av SINTEF viser at både batteri- og hydrogenteknologi er mulig i godstransport. Når det gjelder ferger og hurtigbåter som drives av hydrogen har utviklingen startet og det ser ikke ut til å være noen umiddelbare showstopper i teknologien. Hydrogenferger og -hurtigbåter kan forventes å være i bruk rundt 2020. Fly med batterier og hydrogen på tanken er også blitt vist fram de siste årene. Dette er småfly med plass til kun noen få passasjerer og begrenset rekkevidde. På lang sikt vil det også være mulig å implementere teknologien i litt større fly, men man må nok basere seg på at fornybar luftfart vil domineres av bio-drivstoff.

Flere prototyper med batteri og/eller hydrogenteknologi er allerede i drift, men tilgjengeligheten på slike kjøretøy er begrenset. De fleste av disse kjøretøyene er ombygd av en tredjepart, så storskala kommersialiseringen av disse vil ta enda noen år. Flere lastebil/buss-produsenter har annonsert satsinger på elektriske drivlinjer, så det forventes et økende utvalg av slike kjøretøy de neste årene. Blant annet jobber Scania med å bygge hydrogenlastebiler for ASKO, de første 4 leveres i 2018/19. Videre søker Kongsberg

Automotive å omstille sin virksomhet fra mekanisk til elektrisk drivlinje for tunge kjøretøy. Hva hydrogen angår tilbys ikke enda industrielle kjøretøy (hullastere osv.) i hydrogenutgave, men på dette området er det et stort potensial for skifte. Generelt gjelder at jo lengre distanser og tyngre kjøretøy, jo større er fordelene med hydrogen (sammenlignet med batteridrift). Det foregår en god del aktivitet relatert til hybridisering og del-elektrifisering for å redusere energibruken i flytransport, inkludert initiativ for å utvikle helelektriske fly [More electric aircraft, 2017]. Airbus og Siemens har et samarbeid hvor målet er å utvikle et elektrisk fly som kan ta inntil 100 passasjerer innen 2030. Dette blir sannsynligvis en hybridløsning.

7.1.1 Batteriteknologi

Batterier er en elektrokjemisk energilagringsteknologi som i økende grad brukes i elektriske kjøretøy, både på vei og på vann. Batterier har gjerne høy virkningsgrad, men er også tunge og store. Rekkevidde med én lading og batterikostnader er vanlige bekymringer. I tillegg er begrenset nettkapasitet og ladetid også utfordringer, avhengig av lokasjon og behov. Mye av dette er ikke problematisk i Norge, men i land som ikke har godt utbygd elektrisk infrastruktur, som India og Kina, vil dette begrense eller forsinke omstillingsprosessen. Det pågår mye forskning og utvikling på batterier. Selv om radikale forbedringer ikke kan utelukkes de nærmeste årene forventes først og fremst inkrementell forbedring av teknologien.

Virkningsgraden til batterier ligger som regel mellom 85 % og 90 %. Hurtiglading reduserer virkningsgraden noe og vil også redusere levetiden på batteriet. Den eneste teknologien som per nå er aktuell for transportanvendelser i batteridrevne elektriske biler er Li-ion-batterier. NiMH brukes fortsatt for noen hybride biler. Li-ion batterier er en klasse av mange forskjellige batterier og det er viktig å velge type batteri ut fra hva man skal bruke dem til. Eksempelvis må man velge batterier som har høy effekt for dynamisk posisjonering på skip, mens man må velge andre batterier for ferger som skal ha et jevnere bruksmønster. Batteriene har opphav i ulike batterikjemier. NCA (Litium-nikkel-kobolt-aluminium oksid) brukes av Tesla og har relativt få ladesykler, men på grunn av lang kjørerekkevidde per ladesyklus er ikke dette noe signifikant utfordring i praksis. LFP (Litium-jernfosfat) er en lovende teknologi for tyngre kjøretøy. LFP-batterier skal per i dag koste omtrent 900 \$/kWh, med en energitetthet på 140 Wh/kg, og en levetid på 7200 sykluser (eller 20 år ved daglig fullading) [California Air Resources Board, 2016]. LTO (Litiumtitanat) er en annen teknologi med høye kostnader og lang levetid. Den er optimal for hurtiglading, og er derfor anvendt i bybusser konfigurert for lading ved hver holdeplass.

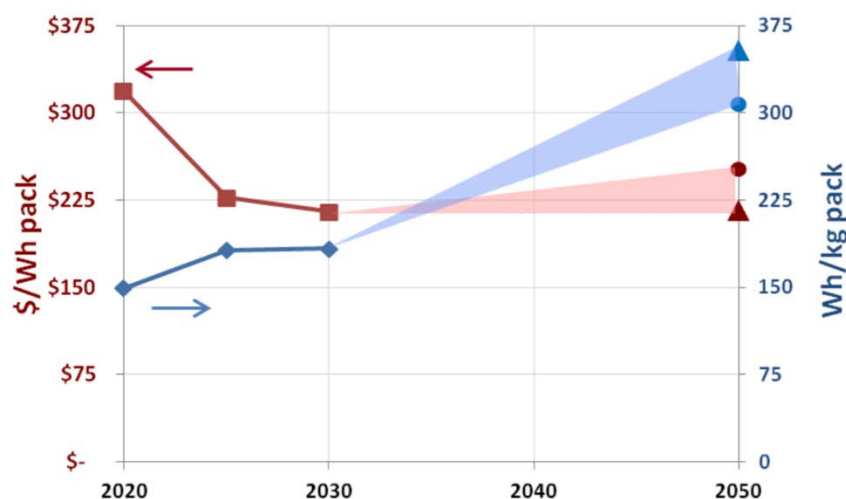
Batteriteknologi er i dag tilgjengelig på markedet, og regelverket er delvis på plass. Sikkerheten er generelt godt ivaretatt, men en må sørge for at nyutvikling med økt energitetthet ikke går på bekostning av sikkerhet.

Utviklingstrender

Batteriteknologi utvikler seg mot lavere priser og høyere energitetthet. Spesielt for Li-ion batterier er det viktig å være klar over at nesten 60% av kostnadene er relatert til råvarer, bl.a. kobolt og nikkel. Prisen for batterierceller vil muligens ikke reduseres betydelig, men man forventer en gradvis økning i energitettheten som gir redusert kostnader per kWh. Men med utvikling av batteripakker og systemer sammen med en betydelig økt implementering og bruk av batterisystemer vil prisene på batterisystemet nok reduseres i tiden fremover. LFP-batterier bør komme ned til 600 \$/kWh innen 2025 [California Air Resources Board, 2016]. Andre teknologier vil ifølge Cluzel og Douglas [2014] bli billigere, og vil falle til 225 \$/kWh innen 2025. Etter dette forventes prisen å holde seg stabil. Man skal bemerke at dette er kostnaden for hele *batterisystemet*.

Optimistiske tall refererer ofte til selve batterikostnaden, som er mye lavere når man tar bort sikkerhets- og kjølesystemene.

Cluzel og Douglas [2014] forventer at energitettheten for batteripakker skal nå 200 Wh/kg innen 2030, og kan sikte mot 300 Wh/kg for 2050. 300 Wh/kg anses som maksimal verdi for Litium-ionteknologi.



Figur 22. Langtidsprognose for utvikling av batteripris og kapasitet (Cluzel og Douglas, 2014)

7.1.2 Hydrogen

Mens batterier både lagrer energi og leverer effekt direkte, leverer hydrogensystemet effekt ved å gjøre hydrogen til strøm. Hydrogenet lagres i en tank, og brenselcellene leverer effekten. Ved behov for lengre rekkevidde (mengde energi), økes størrelsen på tanken, mens brenselcellen forblir den samme. For å doble rekkevidden til hydrogenkjøretøy vil dermed størrelsen på tanken måtte doubles, men dette vil ikke nødvendigvis gi et stort utslag i totalvekt for kjøretøyet. For å doble rekkevidden til batterikjøretøy må imidlertid batterikapasiteten økes med mer enn det dobbelte, siden en batteripakke med doblet kapasitet vil gi en betydelig økning i totalvekten og dermed energibruken til kjøretøyet. En annen fordel med hydrogen er den raske fyllingen av energi. For personbiler "fylles" ca. 150-200 km per minutt med hydrogen, tilsvarende hurtiglading av batterier vil kreve en effekt på nesten 1 MW. Teslas hurtigladerer er på 100 kW, men det jobbes med enda større kapasiteter. Utfordringen er om batteriene tåler den ekstreme ladingen, samt kostnadene for den elektriske infrastrukturen. Selv om antallet stasjoner øker betraktelig, er infrastrukturen for hydrogen enda ikke godt nok bygd ut for storskala utrulling av hydrogenkjøretøy. Kostnaden per stasjon er relativt høy, noe som gjør det vanskelig å drive disse kommersielt de første årene (pga. lav omsetning). Det er videre vanskelig å anslå hvorvidt utbygging av infrastruktur for hydrogen er mer kostbart enn å bytte ut infrastruktur for batterielektriske biler, blant annet fordi kostnadene er avhengig av både omfang og utforming av infrastruktur.

Hydrogenløsninger har bedre virkningsgrad enn diesel, men klart lavere enn batterier. I de aller fleste tilfeller vil et brenselcellesystem inkludere et batteri. Strukturen blir den samme som vi kjenner fra dagens hybridbiler, men forbrenningsmotoren skiftes ut med brenselceller. Hensikten er å bidra til å jevne ut den dynamiske belastningen og ta opp bremseenergi, dermed kan batteriet være mye mindre enn ved ren batteri-elektriske systemer. Et moderne PEM-brenselcellesystem gir omtrent 50 % virkningsgrad, men høyere verdier ved lav

last (det motsatte av dieselmotorer). Et brenselcellesystem koster i dag omtrent 2000 \$/kW. Den høye kostnaden skyldes lavt produksjonsvolum. Forutsatt dagens teknologi er det imidlertid forventet at kostnaden skal falle til 300 \$/kW ved et produksjonsvolum på 1000 enheter i året, og til 80 \$/kW ved 100 000 enheter i året. Hydrogenlagring er allerede ganske billig, med en kostnad på mellom 12 og 30 \$/kWh.

Brenselcellenes levetid måles i driftstimer, og avhenger sterkt av driftsprofilen. Brenselceller til transport, som utsettes for mange av/på-sykluser og varierende last, estimeres til å vare i 10 000 timer. I praksis er målet for utviklingen at systemene skal vare ut bilens/kjøretøyets levetid. For stasjonære versjoner kan denne verdien øke til 50 000 timer.

Sikkerhet er ofte et tema i diskusjoner om bruk av hydrogen. Hydrogen anses imidlertid ikke å være farligere enn bruk av diesel, selv om faremomentene er forskjellige. Industrielt har hydrogen blitt håndtert i rundt hundre år, men det er aspekter ved bruk av hydrogen som drivstoff som må vurderes. Det gjelder blant annet i skip, tunneler og parkeringshus/kjellere, samt håndtering/transport av større mengder i det offentlige rom. Utbredt bruk og aksept av hydrogen som drivstoff fordrer et tydelig regelverk som definerer forutsetninger for sikker bruk. Hydrogenteknologien er allerede tilgjengelig på markedet, selv om lav etterspørsel innebærer høye priser.

Ved 700 bar trykk er energitettheten per liter ca. fire ganger lavere enn for diesel eller bensin. Storskala transport av hydrogen i gassform blir dermed mindre kostnadseffektiv sammenlignet med dagens løsninger. Ved lagring av flytende hydrogen er ikke energitettheten spesielt høyere enn gass ved 700 bar [FCH JU 2014], men hovedfordelen er at man slipper sterke og tunge tanker, som gjør flytende hydrogen bedre egnet til lagring i storskala. Det første tankskipet for transport av flytende hydrogen er allerede under bygging i Japan. Det skal stå ferdig i 2020 og frakte store mengder hydrogen fra Australia til OL i Japan samme år.

Utviklingstrender

Teknologien er moden og har vist at den fungerer utmerket i alle situasjoner og bruk. Dagens forskningsinnsats fokuserer på å redusere kostnaden og øke levetiden av brenselceller, heller enn å øke virkningsgraden. Antatt at det blir tilstrekkelig opptak i markedet, vil brenselceller kunne koste 100 €/kW i 2020 og 75 €/kW i 2023 (EUs mål), og falle videre til 40 \$/kW i 2050 [IEA 2015], og oppnå levetider på 20 000 timer i transportsektoren allerede i 2020. Som for batteri-elektriske drivlinjer, forventes kostnadene til slike systemer å komme ned på samme nivå som dagens forbrenningsmotorer.

Med introduksjonen av serieproduserte hydrogenbiler fra Toyota, Honda og Hyundai m.fl. de neste årene, bør regelverket og den grunnleggende infrastrukturen være på plass innen 2020 i mange land.

Hydrogen er særlig aktuelt for større applikasjoner og/eller ønske om lang rekkevidde, hvor det er behov for mye energi lagret om bord. Det vil si store person/varebiler, (region)busser, lastebiler, tog og skip. Hydrogen i gassform vil være mindre egnet som energikilde på de lengste strekninger og for større skip, for disse applikasjonene vil hydrogen lagres i flytende form. For små skip på korte og mellomlange avstander er dette imidlertid ikke noe problem, og komprimert hydrogengass kan benyttes.

7.1.3 Biodrivstoff

Biodrivstoff er en betegnelse man bruker på mange forskjellige energibærere/drivstofftyper som har sine opphav i organiske materialer som planter, trær eller dyr. Ulikt hydrogen, inneholder biodrivstoff karbon (C) som vil danne CO₂ under forbrenningen. Selv om CO₂-utslippene tas opp igjen av planter og trær under vekst,

vil bærekraften av selve biodrivstoffet hovedsakelig være avhengig av hvilken biomassetypen er brukt. Det finnes konvensjonelle og avanserte biodrivstofftyper og hvilken kategori biodrivstoffet tilhører er avhengig av brukt råstoff og GHG (drivhusgass) reduksjon gjennom livssyklusen. Gjeldende kriterier for EU er nå 60 % GHG reduksjon i forhold til fossile drivstoff og at matplanter som råstoff ikke er tillatt i denne kategorien for at det skal kunne kalles avansert biodrivstoff. En fordel i forhold til hydrogen er at biodrivstoff er enklere å lagre da den ikke trenger komprimering eller flytendegjøring. Biodrivstoff produseres i dag kommersielt av planter og avfall som inneholder enten sukker/stivelse eller olje/fett. Av sukker og stivelse produseres store mengder bioetanol via fermentering som blandes i forskjellige grad med fossilt drivstoff og selges på markedet. Biodiesel produseres av oljeholdige planter eller avfall. Det blandes også med fossil diesel og selges på markedet og er godkjent å bruke i kjøretøy uten modifikasjoner. Både biodiesel og bioetanol kan brukes rent i eksisterende forbrenningsmotorer, men da må motorene og infrastrukturen rundt modifiseres. I dag produseres høykvalitets diesel og flydrivstoff helt tilsvarende fossile ekvivalenter av oljeholdige planter og avfall med en type hydrogeneringsprosess kjent fra oljeraffinerier. Dieselen heter HVO diesel (Hydrogenerert Vegetabilsk Olje) og jetdrivstoffet HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids). HVO diesel kan brukes på lik linje med fossil diesel. HEFA jetdrivstoffet er i dag godkjent å bruke i fly blandet med fossilt jetA1 opptil 50%. Bruk av dette er demonstrert bl.a. på Gardermoen.

Disse produktene er tenkt brukt mot fly, skip og andre tungtransportsektorer. Her er det viktig å nevne at i spesielle sektorer som lufttransport finnes det ingen andre bærekraftige alternativer enn biodrivstoff som kan tas i bruk i nær framtid. Det finnes to hovedalternativer for produksjon av biodrivstoff gjennom en avansert generasjonsprosess. Den første metoden er basert på en termoskjemisk prosess (som gassifisering) slik at råmaterialet konverteres til gasser som deretter omdannes til et spekter av biprodukter gjennom en Fischer-Tropsch prosess. Den andre metoden er basert på hydrolyse (for nedbrytning av cellulosen til sukkerprodukter) som baserer seg på bruk av spesifikke enzymer etterfulgt av en fermenteringsprosess som er kjent fra tradisjonell bioetanolproduksjon.

Utviklingstrender

Avansert biodrivstoff, det vil si biodrivstoff fra lignocelluloseholdige råstoff som trevirke, halm og landbruksavfall, produseres kun i små mengder i dag. Borregaard har produsert avansert bioetanol i flere tiår i sitt anlegg i Sarpsborg, men der er bioetanolen et biprodukt. Et dedikert kommersielt bioetanolanlegg som produserer ca. 20 000 tonn etanol per år finnes i Italia. De andre avanserte biodrivstoffproduksjonsteknologiene er i dag på pilot- og demoskala.

Utfordringen har vært knyttet til høy produksjonskostnad sammenlignet med fossile alternativ. Utviklingstrenden går mot å redusere kostnadene ved å optimalisere prosessen for å produsere andre verdifulle kjemikalier eller andre produkter som vil bidra til bedre lønnsomhet. Dette heter bioraffinerikonseptet. En annen viktig trend er å benytte billigst mulig råstoff, sidestrømmer og avfall, men disse råstoff kan være utfordrende å konvertere. Muligheten for å utnytte havressurser som tang og tare til produksjon av biodrivstoff eller bruke alger til å fange CO₂ fra industriprosesser undersøkes også. Tanken er å utvide dyrkearealet til å gjelde havet, da storskala produksjon av biodrivstoff vil kreve betraktelige arealer. Dette anses veldig utfordrende og langt framme i tid da produksjon og håndtering av biomasse fra havet er veldig kostbart i dag.

Andre energiforsyningsformer

Man har sett et tydelig fall i prisene på alternative energiformer som solenergi og vindkraft de siste årene, men utfordringen med disse energiformene er lagring av energien over tid, de trenger i dag bufferkraft for å gi en jevn energiforsyning. Med utvikling av bedre energilagringsteknologi, vil man nok likevel se at det i en del anvendelser i trafikksystemene vil dukke opp alternative lokale energiformer fremfor å utstyre hele infrastrukturen med ekstern strømforsyning, noe som er dyrt. For små miniatyriserte og lav-energi sensorer kan man til og med se for seg at sensoren er koblet til små miniatyriserte energihøstere som høster den energien som allerede finnes på stedet (som varme, vibrasjoner, bevegelse).

Mer spekulative former for lokal energiproduksjon brukes det mye innsats på fra store selskaper som for eksempel fusjonsenergi i container som kan forsyne energi til 80.000 husstander [Lockheed-Martin, 2017]. Fordelen med slike energiformer er at de er svært rene, ulempen er at det kreves store mengder energi for å få i gang prosessene.

7.2 Direkte elektrisk energioverføring til kjøretøy i bevegelse

For tungtransport og for transport over lange avstander, vil ikke batteridrift i overskuelig framtid være et relevant alternativ til biodrivstoff eller hydrogen. For veitransport kan likevel elektrifisering være mulig ved å overføre elektrisk energi til kjøretøy i bevegelse. Hvis slike systemer kan benyttes av flere ulike typer kjøretøy, vil det kunne medføre en betydelig reduksjon av nødvendig størrelse på batterier ombord på elektriske kjøretøy. Slike systemer kan muliggjøre fullstendig elektrifisering av kjøretøy, men kan også utnyttes for å redusere utslipp fra plug-in-hybride kjøretøy.

7.2.1 Elektrisk energioverføring via direkte mekanisk kontakt

Teknologi for direkte energioverføring til kjøretøy i bevegelse ved hjelp av glidekontakter er godt kjent fra skinnegående transport, eksempelvis fra tog med pantograf og overhengende kjøreledning eller fra undergrunnsbaner med strømskinne langs bakken. For slike konsepter er hovedforskjellen mellom skinnegående trafikk og vegtrafikk at skinnegående kjøretøy bare trenger en kjøreledning siden strømmetur går gjennom skinnene, mens det er behov for to kjøreledninger for kjøretøy på gummihjul.

Systemer med kjøreledning for veitrafikk er likevel godt kjent fra trolleybusser. For å oppnå fleksibel veitransport med sømløs til- og frakobling fra kjøreledningene, er det likevel nødvendig med noen tilpasninger sammenlignet med etablerte systemer fra jernbane og trolleybuss. Dessuten vil slike systemer i praksis bare kunne utnyttes av store kjøretøy som lastebiler og busser.

Siemens har utviklet et fullstendig konsept for elektrisitetsoverføring til lastebiler fra kjøreledninger over veibanen. Dette konseptet fra 2016 er i drift på offentlig vei som en del av et demonstrasjonsprosjekt i Sverige, og flere demonstrasjonsprosjekt er under etablering, blant annet i California. Systemet er basert på to kjøreledninger som henger over vegbanen, og en tilsvarende posisjonsstyrt pantografenhet med to kontaktpunkt som monteres på lastebilen. Pantografen vil automatisk senkes og lastebilen vil gå over til batteri- eller dieseldrift så snart den forlater kjøreledningen eller forflytter seg i vegbanen slik at det ikke er mulig å opprettholde kontakt med kjøreledningen. Denne løsningen er i stor grad basert på moden teknologi, og det er forventet at den relativt raskt kan tas i bruk, selv om enkelte tilpasninger til lokale forhold kan være nødvendig i Norge.

Som nevnt er en av de viktigste begrensningene ved bruk av kjøreledning over veibanen at slike løsninger bare kan brukes av store kjøretøy. Dessuten vil installasjon av kjøreledninger ha et betydelig visuelt avtrykk. Det foregår derfor flere utviklingsprosjekter med intensjon om å utvikle løsninger for elektrisk energioverføring ved hjelp av glidekontakter integrert i veibanen. Ett konsept fra det svenske selskapet Elways, basert på en nedsenket strømskinne i vegbanen, har i løpet av 2017 blitt satt i drift på offentlig vei ved Arlanda i Sverige. Det finnes også flere andre konsepter for strømskinne i vegbanen, blant annet et konsept fra Alstom som i utgangspunktet har blitt utviklet for å unngå kjøreledning for trikk og bybane. Disse løsningene har hittil bare blitt testet under laboratorieforhold og utenfor offentlig vei. En utfordring med løsninger basert på strømskinne er sikkerhet, siden energioverføring nødvendigvis medfører behov for spenningssatte ledere som er tilgjengelig i veibanen. Dette løses vanligvis ved seksjonering av lederne, slik at bare en begrenset lengde av strømskinnen, som enten er dekket av kjøretøyet eller like foran et kjøretøy i fart, er spenningssatt. Når en seksjon ikke er i bruk, kobles den til jordpotensial, slik det ikke er noen berøringsfare i vegbane.



Figur 23. Eksempel på tre ulike løsninger for dynamisk konduktiv energioverføring til kjøretøy i bevegelse, a) Systems fra Siemens eHighways med to overhengende kjøreledninger [Siemens e-Highway, 2017], b) konsept fra Elways i Sverige basert på skinne med nedsenkede ledere i veibanen [Olsson, 2014] c) konsept fra Alstom, med seksjonerte strømskinner på veioverflaten [Teknisk Ukeblad, 2013]

Bildene ovenfor viser løsningen med overhengende kjøreledning for en lastebil, samt to ulike konsepter for energioverføring fra en skinne i veibanen. En av utfordringene med installasjon av skinne i veibanen er slitasje og vedlikehold av veiinfrastrukturen. Et konsept basert på en strømskinne integrert i rekkverk på siden av veibanen er derfor også under utvikling og testing i Japan.

Alle de nevnte løsningene for elektrisitetsoverføring basert på glidekontakter er avhengige av aktive posisjoneringssystemer slik at strømvtageren kan følge ledningene eller strømskinnene uavhengig av kjøretøyet bevegelse innenfor et gitt toleranseområde. Det kan antas at disse aktive posisjoneringssystemene vil være blant de mest sårbare delene av systemer for dynamisk elektrisitetsoverføring til kjøretøy i bevegelse. Dessuten vil alle konsepter basert på elektriske glidekontakter være utsatt for mekanisk slitasje.

7.2.2 Elektrisk energioverføring via kontaktløs induktiv overføring

For å unngå berøringsfare, utfordringer med mekanisk slitasje og aktive posisjoneringssystemer er teknologi for kontaktløs induktiv energioverføring et relevant alternativ for dynamisk overføring av elektrisk energi til kjøretøy i bevegelse. Slike systemer kan i prinsippet integreres i veibanen uten å ha noen deler eksponert for mekanisk slitasje, og mottakerenheten ombord på kjøretøyet kan integreres uten behov for aktiv mekanisk

posisjonering. Energioverføringen kan reguleres av kraftelektronikkomformere som styrer systemet, og eventuelle variasjoner i posisjon vil først og fremst føre til reduksjon av maksimalt overført effekt.

På grunn av de potensielle praktiske fordelene med dynamisk induktiv energioverføring, foregår det flere ulike prosjekt for utvikling og demonstrasjon av slik teknologi i ulike deler av verden. Selv om flere ulike designprinsipper kan utnyttes for å oppnå ønsket funksjonalitet, er prinsippet for energioverføring det samme. Ulike varianter av dette konseptet har allerede blitt demonstrert med busser i Korea, basert på teknologi utviklet ved KAIS [Mi, Buja, Choi and Rim 2016]. Tilsvarende har Bombardier i Tyskland også demonstrert et lignende konsept for trikk, og det koreanske instituttet for jernbaneforskning har demonstrert teknologi som kan være anvendbar for tog. I Europa foregår det også stor aktivitet relatert til dynamisk induktiv energioverføring innenfor EU-prosjektet Fabric, som har to ulike demonstrasjonsanlegg under utvikling [FABRIC 2017].

De største utfordringene med systemer for dynamisk induktiv energioverføring er kostnadene med integrasjon av nødvendig infrastruktur i veibanen. Det er også en utfordring å oppnå høy virkningsgrad samtidig som kostnadene med systemet begrenses. Det kan likevel forventes en betydelig utvikling og forbedring av teknologi for dynamisk induktiv energioverføring i de kommende årene, som kan bidra til å bringe slike løsninger nærmere kommersialisering i større skala.

7.2.3 Plug-in-hybride løsninger med mulighet for energioverføring i fart

Det bør nevnes at elektrifisert veitransport med dynamisk energioverføring til kjøretøy i bevegelse i stor grad forventes å være basert på hybride løsninger med ulike former for energilager og/eller forbrenningsmotor ombord. Det vil derfor ikke nødvendigvis være relevant å installere infrastruktur for energioverføring langs hver meter av en gitt veistrekning, siden et kjøretøy vil kunne utnytte batterier ombord på deler av strekningen. Dermed vil det bli viktigst å installere infrastruktur der energibehovet er stort, eksempelvis i forbindelse med stigninger i veitraseen. Bruk av kjøretøy med forbrenningsmotor ombord kan være mest relevant i en tidlig utviklingsfase for å oppnå lang rekkevidde utenfor elektrifisert veiinfrastruktur. Med en mer omfattende utbygging av slik infrastruktur kan det forventes at det vil være tilstrekkelig med bare batterier som energilager ombord i kjøretøyet. Hvis infrastrukturen kan utnyttes av flere typer kjøretøy, vil muligheten for lading langs viktige veistrekninger også kunne gi betydelig reduksjon i hvor store batterier som trengs for å oppnå lang rekkevidde med elektrisk drift.

Tilsvarende betraktninger er også relevante for skinnegående transport. Ulike former for energilager ombord i trikk og tog har allerede blitt tatt i bruk for gjenvinning av bremseenergi og for å begrense nødvendig maksimaleffekt fra kraftforsyningen [Arbolea, Bidaguren og Armendariz 2016]. Energilagringssystemer med batterier eller superkondensatorer kan også utnyttes til å sikre framdrift og sikker strømforsyning ombord i tog eller trikk for kortere strekninger der infrastruktur for energioverføring fra det stasjonære kraftnettet ikke er tilstede, eksempelvis i sensitive byområder der man ønsker å unngå omfattende fysiske installasjoner.

Utviklingen innenfor hybridisering og elektrifisering av maritim transport har også gitt erfaring med store batterisystemer med effekt og energilagringsskapasitet i størrelsesorden på flere MW/MWh. Tilsvarende systemer kan også enkelt utvikles for tog, og kan muliggjøre del-elektrifisering av jernbane uten behov for utbygging av kjøreledning for hver meter av skinnetraséen. Slike løsninger kan eksempelvis muliggjøre reduserte kostnader for infrastrukturutbygging i forbindelse med elektrifisering av jernbane. Eksempelvis kan framdrift sikres ved batteridrift på kortere strekninger der konstruksjon av tradisjonell kjøreledning vil være

svært kostbart (tuneller, underganger, smale traséer i bratt terreng etc.), mens batteriene lades fra tradisjonell kjøreledning installert der slik infrastruktur kan bygges billigere og mer kostnadseffektivt. Teknologien som er nødvendig for å oppnå nullutslippsdrift av tog ved slik del-elektrifisering kan regnes for å være moden og tilgjengelig, og eventuell industriell utvikling og leveranse av slike systemer kan forventes relativt raskt avhengig av etterspørsel.

8 Produksjon og arbeidskraft

Dette kapitlet beskriver hvordan produksjon og arbeidskraft i transportsektoren kan forventes å endres som følge av teknologiutviklingen. Nye former for produksjon i industrien vil kunne endre tilbud og etterspørsel etter transporttjenester. Et typisk eksempel er 3D-printing som kan flytte produksjonen fra store sentrale produksjonssteder til lokale bedrifter og til og med til hjemmene til forbrukerne. Dette vil kunne påvirke transporten av gods. Når det gjelder arbeidskraft vil roboter etter hvert kunne utføre både bygging og vedlikehold av infrastruktur.



Figur 24. Forventet tidslinje for bruk av teknologier knyttet til produksjon og arbeidskraft

Norsk Titanium har satt i gang samarbeidsprosjekter som kan føre til at deres 3D-printede deler kan bli brukt både under vann og i verdensrommet - i tillegg til i langt flere fly enn i dag.

Den største nyheten fra selskapet er inngåelsen av en samarbeidsavtale med Spirit Aerosystems, en av verdens største produsenter av deler til flyindustrien. Selskapene har gjennomgått sortimentet av deler Spirit leverer til kunder i flyindustrien over hele verden. Resultatet er at omtrent 30 prosent av sortimentet – flere tusen forskjellige deler egner seg for 3D-printing.

Ved å 3D-printe delene med Norsk Titaniums teknologi kan produksjonskostnadene reduseres med 30 prosent gjennom besparelser i energi- og materialbruk.

Norsk Titanium leverer deler til Boeings 787 Dreamliner. Disse delene er 3D-printet hos Norsk Titanium på Hønefoss, og er de første FAA-godkjente flydelene som er produsert på denne måten¹¹.

¹¹ Kilde: Teknisk ukeblad og Norsk Titanium <https://www.tu.no/artikler/norsk-titanium-skal-lage-titandeler-for-boeing/349446>

8.1 Automatisert vedlikehold

Ubemannede fly og helikoptre (droner) har de siste par årene blitt utredet for forskjellig bruk i transportsektoren, og forventes å kunne ha en betydelig rolle innen drift og vedlikehold av transportinfrastruktur. Det er spesielt innen to områder denne teknologien har blitt prøvd ut:

- Vurdering av rasfare (snøskred, stein, osv.) for vei og jernbane
- Inspeksjon av kritisk infrastruktur som broer osv. for strukturell integritet

Droneteknologien som er nødvendig for å løse slike oppgaver er allerede tilgjengelig, men det meste gjøres i dag manuelt gjennom fjernstyring av dronen og manuell analyse av innsamlede data. I et 20 års perspektiv forventes at inspeksjonsoppdrag kan gjøres mye mer autonomt og at data kan analyseres maskinelt for å få automatiserte analyser av strukturell integritet.

Inspeksjon og vedlikehold av infrastruktur henger ofte sammen, men vedlikehold er en mer utfordrende arbeidsoppgave enn inspeksjon siden vedlikehold ofte dreier seg om tyngre arbeidsoppgaver sammenlignet med inspeksjon. Det forventes imidlertid at det i løpet av 20 år vil komme en rekke spesialiserte roboter som gjør det mulig å automatisere mye av arbeidet med sandblåsing, maling og annen overflatebehandling av kritisk infrastruktur. Eksempler på slike robotiserte løsninger utvikles allerede i norske og EU- finansierte prosjekter.

Et område hvor en kan forvente at mobile roboter kan få betydning er innenfor veibygging, men potensialet her er så vidt vi vet ikke kartlagt tilstrekkelig. Innenfor f. eks. oppmåling burde teknologien være moden nok for automatisering.

Droner i lufta brukes allerede til inspeksjoner i høyden uten å måtte sette opp stillas eller bruke klatrere. Ny teknologi for bl.a. kollisjonsunngåelse vil gjøre det mulig å utføre kompliserte inspeksjons- og intervensjonsoperasjoner fra slike droner.

I dag er man avhengig av en kvalifisert dronepilot for å kunne utføre operasjoner med droner i lufta. Ny teknologi innen sensorer, autonomi, menneske-maskin-interaksjon (MMI) og mekatronikk vil gjøre det mulig å levere tjenester (f.eks. inspeksjon, overvåkning) med droner uten å måtte være ekspert på å styre droner. Et mulig utfall av dette er at verdikjeden endres ved at sluttbruker tar i bruk droneteknologi direkte i stedet for å kjøpe inn tjenester fra en tjenesteleverandør.

Droner og robotikk (luftfartøy og mobile roboter) forventes å kunne ha en betydelig rolle innen drift, inspeksjon og vedlikehold av infrastruktur. Droner og robotikk kan bli en integrert del av systemene som brukes til inspeksjon og vedlikehold. Droner og roboter vil i større grad kunne utføre forskjellige type operasjoner i stedet for å bare være spesialisert til en type oppgave.

9 Tjenester

Utviklingen innenfor transporttjenester inkluderer bl.a. mer samhandling på tvers av transportmodusene og transportmidlene. Et typisk eksempel er samordnede persontransporttjenester hvor transporttjenestebrukeren kan kjøpe pakker med reiseprodukter som gir brukeren (kunden) tilgang på en rekke transporttjenester på en måte som er både fleksibel og effektiv for brukeren. Et eksempel på et slikt konsept er Mobility as a Service (MaaS) slik det er beskrevet på nettsiden til MaaS Global [Maas, 2017].

Nye ITS-tjenester vil også påvirke tilbud og etterspørsel av transporttjenester. ITS tjenestene skal medvirke til at transporttjenestene blir sikrere, mer effektive, mer miljøvennlig, mer tilgjengelig for alle trafikanttyper og

mer komfortabel. ITS tjenester er derfor et tiltak myndigheter kan bruke til å styre tilbud og etterspørsel og det er også en tjeneste som vil kunne tiltrekke seg kommersielle aktører.

Innenfor vegsektoren vil f.eks. nye tjenester knyttet til delingsøkonomi som bildelingstjenester kunne forventes å påvirke både bilhold og bruk av bil i byer.

9.1 Tjenester for persontransport

Behovet for å eie egne biler vil reduseres. Man vil i stedet benytte seg av transporttjenester som leveres ved hjelp av selvkjørende biler som tilbyr skreddersydde og fleksible transporttjenester som ikke så enkelt kan støttes av tradisjonell kollektivtransport. De selvkjørende bilene kan f.eks. benyttes i områder hvor trafikkgrunnlaget for rutegående transport ikke er stort nok og for å betjene reisende som ikke så lett kan kjøre eller forflytte seg på egen hånd (f.eks. eldre og funksjonshemmede)

- Tjenester for delt mobilitet. Begrepet *delt mobilitet* brukes for transporttjenester som deles mellom ulike brukere. Dette kan være drosjetjenester (f.eks. flytaxi), samkjøring, bildeling, sykkeldeling med mer. Tjenester for delt mobilitet er ikke et nytt konsept. Tjenester for *sykkeldeling* går flere tiår tilbake og i dag har mange byer ordninger som lar innbyggere og besøkende låne og bruke sykler som tilhører en (ofte) offentlig sykkelflåte. Tilsvarende prinsipper gjelder *bildeling*, der brukere i delingsnettverket kan reservere en bil som inngår i bilflåten som deles og betale for bruken. Etter hvert som denne formen for delt mobilitet har vokst, har også kommersielle virksomheter fattet interesse, noe som fører til et mer utydelig skille mellom billeie og bildeling.
- Sømløst integrerte transporttjenester i henhold til konseptet "Mobility as a Service (MaaS)" (se kapittel 4.4.2). Integrerte tjenester leveres fra en MaaS-leverandør, med én betaling, og man får hjelp til å forflytte seg fra dør til dør ved at egnede transporttjenester fra ulike leverandører kombineres på best mulig måte. Tjenester levert av selvkjørende biler kan for eksempel integreres med tradisjonell kollektivtransport, tjenester for delt mobilitet (for eksempel bildeling eller samkjøring), bruk av bysykler, sykling med egen sykkel, gange, osv.

Utbredelsen og variasjonen av transporttjenester for delt mobilitet har økt betraktelig de senere årene. Dette skyldes på den ene siden kapasitetsproblemer i transportsystemet og urbanisering, samt større oppmerksomhet rundt miljøvennlige livsstilvalg, energiforbruk og gevinster den enkelte kan oppnå gjennom delingsøkonomi. På den andre siden har den teknologiske utviklingen slik beskrevet i denne rapporten gjort det teknologiske mulig og mer effektivt å både utvikle og formidle slike tjenester.

Gjennom tjenester for *samkjøring* kan man fylle ledige seter og slik redusere antallet kjøretøy i transportsystemet. Samkjøring foregår typisk ved at reisende med liknende reiseruter reiser sammen i samme bil eller minibuss. Med fremveksten av smarttelefonene kan samkjøring koordineres gjennom en mobilapplikasjon med sanntidsinformasjon om de reisendes lokasjon og destinasjon.

Det er denne formen for samkjøring som har resultert i foretak som f.eks. Uber, Lyft, Gett o.l., og som omtales som '*ridesourcing*'. Gjennom applikasjoner for smarttelefoner kan reisende betale for å få skyss med bilførere som er registrert gjennom applikasjonene. Selskapene som tilbyr slike tjenester har i økende grad også lagt til rette for at bilføreren kan plukke opp flere passasjerer som ønsker å reise (deler) av den samme ruten. Fordi dette medfører at passasjerer deler (split, eng.) kostnadene for reisene, omtales denne formen for delt mobilitet som '*ridesplitting*'.

Ulike tjenester vil ha ulik virkningsgrad avhengig av egenskapene til transportsystemet tjenesten operer i, men på generelt grunnlag vil tjenester for delt mobilitet ifølge [Shared-use Mobility Center, 2015] kunne bidra til betydelige miljø- og effektivitetsforbedringer i transportsystemet. Tjenester som tilbyr flere mobilitetsalternativer for person- og varetransport kan bidra til å forbedre trafikkavvikling, redusere forurensing og drivstofforbruk, redusere transportkostnader og forbedre effektivitet og redusere etterspørselen etter parkeringsplasser.

Nye transporttjenester vil vokse fram ved hjelp av det over. Her vil nye forretningsmodeller spille en vesentlig rolle.

9.2 Tjenester for godstransport

Godstransport er en av de største utfordringene innen transportområdet i dag. Mye av forurensingen fra transporten skyldes godstransport, og godstransporten er spesielt en utfordring i byer hvor det er begrenset med plass og lokal forurensing er et stort miljøproblem.

Status innen godstransporten i Europa i dag er at bilene i snitt kun er halvfulle og det er mye tomkjøring. Dessuten er det en trend at antallet små leveranser øker, først og fremst på grunn av netthandel. Denne trenden vil sannsynligvis øke når store deler av dagligvarehandelen sannsynligvis også vil skje på nettet.

Tradisjonelt har man for godstransport i de fleste tilfeller planlagt transporter og bestilt alle transporttjenester før varene sendes. Dette har gitt suboptimale tjenester fordi enkeltaktørene kun fokuserer på sine egne transporter. Det er i arbeidet med den europeiske teknologiplattformen ALICE [Alice, 2017] teorier om at transportulempene kan reduseres ved hjelp av konseptet fysisk internett. Dette har paralleller til "Mobility as a Service". Man bestiller kun transport av godset fra A til Å uten å angi hvordan dette skal skje. Transportkjeden komponeres ved at transporttjenester dynamisk velges og kombineres underveis. Godset rutes i et nettverk av terminaler og videre transport fra en terminal vil bestemmes så sent som mulig basert på informasjon om alle godsenheter i terminalen. Dette kan sammenlignes med pakkeswitching innen datakommunikasjon. Valg av transporttjenester og fyllingsgrader kan optimeres basert på sanntidsdata om alt tilgjengelig gods. Standardisering og digitale tjenester som støtter opp om slike løsninger må etableres.

Konseptet fysisk internett vil kreve at transportene skjer ved at man dynamisk velger ruter og transporttjenester (inkludert bruk av transportmidler), terminaler og terminaltjenester som er optimale ut fra krav om effektive og miljøvennlige transporter. Dette vil gi flere omlastinger da godset må samlastes i lasteenheter og i transportmidler slik at disse får høy lastfaktor. Automatisering av lasting, lossing og godsbevegelser i terminaler blir derfor viktig.

Distribusjonssentre i bl.a. byer vil støtte opp om konseptet fysisk internett. Når de fleste leveransene i en by samordnes, kan man få færre biler og færre leveranser per lokasjon.

9.3 Droner som en tjeneste

Droner "as a service" omfatter at brukeren av et system med flere droner skal kunne fortelle systemet hvilke oppgaver han/hun ønsker utført uten å spesifisere hvordan systemet skal løse disse oppgaven. Systemet vil da selv konfigurere seg (dvs. velge ut antall/type droner) og utføre oppgaven det er satt til. Et slikt system gjør at brukeren kan fokusere sin kompetanse på oppgavene som skal utføres, og ikke på teknisk innsikt i selve dronesystemet. Droner kan på denne måten bli en integrert del av godstransporten.

Referanser

AISN (2017) <http://kystverket.no/Maritime-tjenester/Meldings--og-informasjontjenester/AIS/Brukartilgang-til-AIS-Norge/>

ALICE (2017) Alliance for Logistic Innovation through Collaboration in Europe, webside; <http://www.etp-logistics.eu/>

AMSRA (2014) Additive Manufacturing : Strategic Research Agenda <http://www.rm-platform.com/linkdoc/AM%20SRA%20-%20February%202014.pdf>

Arboleya, Pablo; Bidaguren, Peru; Armendariz, Urtzi; (2016), "Energy is On Board – Energy storage and other alternatives in modern light railways," in *IEEE Electrification Magazine*, Vol. 4, No. 3, pp. 30-41, September 2016,

BigData (2014) European Big Data Value Strategic Research & Innovation Agenda http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/cf/dae/document.cfm?doc_id=7151

California Air Resources Board (2016), Advanced Clean Transit: Battery Cost for Heavy-Duty Electric Vehicles. https://www.arb.ca.gov/msprog/bus/battery_cost.pdf. Lest 3. Aug 2017.

Carlin M.S., Skjellaug Bjørn, Nygaard Stian, Vermesan Ovidiu, Svagård Ingrid Storruste, Andreassen Tor W., Knutstad Gaute Andreas, Gran Inge Røinaas, Andresen Inger, Røhne Mette, Ausen Dag Torstein, Boysen Elin Sundby "Effekten av teknologiske endringer på norsk nærings- og arbeidsliv", SINTEF Rapport; A27222 (2015)

CAT (2017) Strategic Transport Research Agenda - STRIA Roadmap 7, CONNECTED AND AUTOMATED TRANSPORT (CAT), Available from: <http://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupDetailDoc&id=31718&no=7&usg=AFQjCNHxVrJNIDTTPIFxphjMDTQKeByz1A>.

CCFS (2017): <https://thedigitalship.com/news/maritime-software/item/5065-cryptocurrency-for-shipping-launched>.

Cluzel and Douglas (2012), Cost and performance of EV batteries, Element Energy, https://www.theccc.org.uk/archive/aws/IA&S/CCC%20battery%20cost_%20Element%20Energy%20report_March2012_Public.pdf. Lest 3. August 2017.

Dreyer, H., T. Foss (2012): Intelligent goods in transport systems (ISBN 978-82-321-0204-4) Akademika publishing

ECInsider (2015) Towards a thriving data-driven economy, ECs nettsider, lest 2015-10-08.

EUFlightpath (2011) <http://www.acare4europe.org/documents/latest-acare-documents/acare-flightpath-2050>

EUG 13E137 ERTMS User Group (2016) EUG Reference 13E137. Version 1.7. 20/12/2016

euRobotics aisbl (2013) https://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/robotics-ppp-roadmap_en.pdf

EUROP (2009) The European Robotics platform EUROP Strategic Research Agenda http://neicts.lancs.ac.uk/pdf/SRA-2009_robotics_in_Europe.pdf

FABRIC (2017), Feasibility analysis and development of on-road charging solutions for future electric vehicles, <http://www.fabric-project.eu/>

FCH JU 2014 (Fuel Cells & Hydrogen Joint Undertaking), Multi-Annual Work Plan 2014-2020 (MAWP) http://www.fch.europa.eu/sites/default/files/documents/FCH2%20JU%20-%20Multi%20Annual%20Work%20Plan%20-%20MAWP_en_0.pdf

Foss, T., K.Y. Bjerkan, M.E. Nordtømme (2016) Ikke-teknologiske aspekter ved kooperativ ITS. Bilen som sensor. SINTEF Rapport A27550, Trondheim: SINTEF Teknologi og samfunn

Giesecke R., T. Surakka and M. Hakonen (2016) "Conceptualising Mobility as a Service," 2016 Eleventh International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), Monte Carlo, 2016, pp. 1-11.

Goldman-Sachs (2014) The Internet of Things - Making sense of the next mega-trend
<http://www.goldmansachs.com/our-thinking/pages/internet-of-things/iot-report.pdf>

Greenough : The 'Internet of Things' will be the world's most massive device market and save companies billions of dollars, Business Insider (2014) <http://www.businessinsider.com/how-the-internet-of-things-market-will-grow-2014-10>

IDS (2017) <http://www.industrialdataspace.org/en/>

IEA (2015): Technology Roadmap. Hydrogen and Fuel Cells. International Energy Agency. Hentet fra <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapHydrogenandFuelCells.pdf>

IFR (2013) Statistics Department World Robotics Industrial Robots <http://www.worldrobotics.org/>

Industrie, (2014) McDougall : Industrie 4.0 Smart manufacturing for the future (2014)
www.gtai.de/GTAI/Content/EN/Invest/SharedDocs/Downloads/GTAI/Brochures/Industries/industrie4.0-smart-manufacturing-for-the-future-en.pdf

ISTAG (2012) The Missing KET, Toward a Strategic Agenda for Software Technologies in Europe, ISTAG Report on 2020 Key Software Technologies, <http://cordis.europa.eu/fp7/ict/docs/istag-soft-tech-wgreport2012.pdf>

Jones : Computer science: The learning machines, Nature (2014) <http://www.nature.com/news/computer-science-the-learning-machines-1.14481> <http://www.nature.com/news/computer-science-the-learning-machines-1.14481>

KET (2011) European Commission High Level Expert Group on Key Enabling Technologies Final Report
<http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/11283/attachments/1/translations/en/renditions/native>

KET (2015) European Commission High Level Expert Group on Key Enabling Technologies Final Report
<http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/11082/attachments/1/translations/en/renditions/native>

Kjenstad, D., Mannino, C., Nordlander, T., Schittekat, P., Smedsrud, M., (2013), 'Optimizing AMAN-SMAN-DMAN at Hamburg and Arlanda airport', Third SESAR INNOVATION DAYS (SID), November 2013.

Lockheed-Martin (2017) <http://www.lockheedmartin.com/us/products/compact-fusion.html>

Maas (2017) <http://maas.global/maas-as-a-concept/>

Maurseth, Holmen & Løge (2015) Den norske IKT-næringens verdiskapingsbidrag, Menon-publikasjon <https://ikt-norge.no/wp-content/uploads/2015/05/Den-norske-IKT-n%C3%A6ringens-verdiskapingsbidrag-rapport-2015.pdf>

McLellan (2015) The internet of things and big data: Unlocking the power, ZDNet, March 2

Moreelectricaircraft (2017), website med artikler; <http://www.moreelectricaircraft.com/>

C. C. Mi, G. Buja, S. Y. Choi and C. T. Rim, (2016) "Modern Advances in Wireless Power Transfer Systems for Roadway Powered Vehicles, in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 63, No. 10, October 2016, pp. 6533-6545

Natvig, M. H. Westerheim, T.K. Moseng, A. Vennesland (2009) "ARKTRANS, The multimodal ITS framework architecture", SINTEF Rapport; A12001

OECD (2015) Data-Driven Innovation, Big Data for Growth and Well-Being, OECD, 6. Oktober.

Olsson O. (2014), "Project Report, Phase 1: Slide-in Electric Road System – Conductive project report," Viktoria Swedish ICT, April 2014

Parasuraman, R., Sheridan, T. B., and Wickens, C. D. (2000), A Model for Types and Levels of Human Interaction with Automation. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A, 30(3): p. 286-297

Shared-Use Mobility Center (2015) Reference guide. <http://sharedusemobilitycenter.org/wp-content/uploads/2016/10/Reference-Guide-Editsweb-version-10.24.2016.pdf>

Siemens' (2015) pressemeldinger: <http://www.siemens.com/press/en/events/2015/corporate/2015-02-amberg.php>

Siemens e-Highway (2017) website, <http://www.siemens.com/press/ehighway>

Sochor (2017) Sochor, Jana L., Hans Arby, and MariAnne Karlsson. "The topology of Mobility as a Service: A tool for understanding effects on business and society, user behavior, and technical requirements." 24th World Congress on Intelligent Transportation Systems, Montreal, October 29-November 2, 2017. 2017.

SPARC (2014) Strategic Research Agenda for Robotics in Europe 2014-2020 http://www.eu-robotics.net/cms/upload/PPP/SRA2020_SPARC.pdf

Technology Review (2012); Many Cars Have a Hundred Million Lines of Code, <https://www.technologyreview.com/s/508231/many-cars-have-a-hundred-million-lines-of-code/>

Teknisk Ukeblad (2013), 26 juni 2013, "Her får elbilen strøm fra veien," <http://www.tu.no/artikler/her-far-elbilen-strom-fra-veien/275341>

Teknisk Ukeblad (2016) Første skritt mot autonome skip; <https://www.tu.no/artikler/forste-skritt-mot-autonome-skip-fjord1-ferge-pa-autopilot/359531>

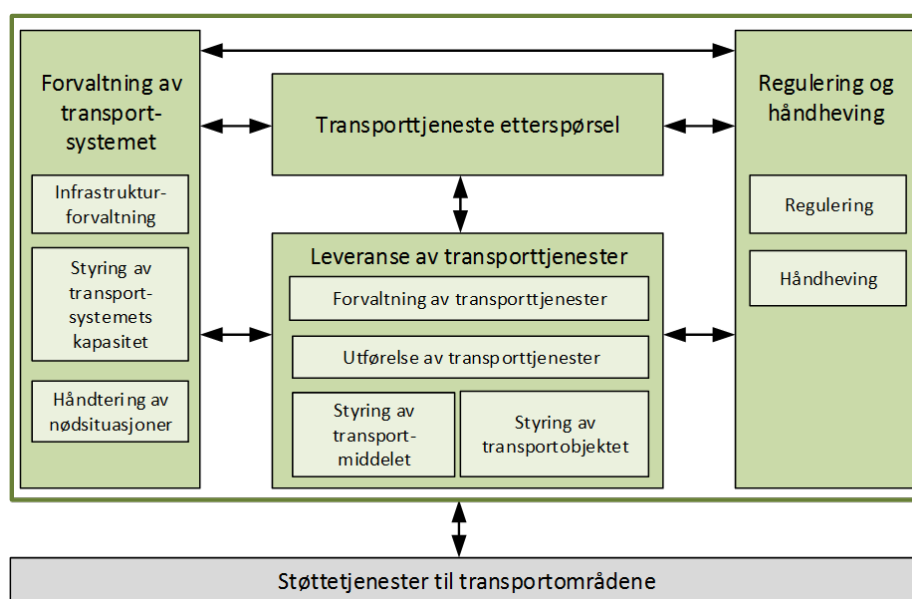
Vermesan & Friess (editors) : Building the Hyperconnected Society, River Publishers (2015) http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/Building_the_Hyperconnected_Society_IERC_2015_Cluster_eBook_978-87-93237-98-8_P_Web.pdf

Vedlegg

Vedlegg 1: En utfyllende beskrivelse av ARKTRANS

ARKTRANS (ARKitektur for TRANSportsektoren) er det norske multimodale rammeverket for intelligente transportsystemer (ITS). ARKTRANS prosjektet ble initiert av Samferdselsdepartementet for mer enn 10 år siden og prosjektet ble finansiert av Forskningsrådet. Alle fire transportmodus, dvs. veg, bane, sjø og luft, var representert med prosjektdeltakere og rammeverket ble utviklet av SINTEF Digital i nært samarbeid med transportmyndigheter og transportoperatører. Rammeverket dekker både transport av personer og gods og er multimodal gjennom å dekke alle fire transportmodus.

ARKTRANS deler transportsektoren inn i 5 hovedområder, jfr. figuren nedenfor. Hvert av de fem områdene inneholder abstrakte roller som er knyttet sammen enten funksjonelt, administrativt, organisatorisk og/eller logisk. Området Forvaltning av transportsystemet omfatter f.eks. alle roller som har ansvarsområder knyttet til etablering, drift og utnyttelse av et transportsystem. Et transportsystem består av selve infrastrukturen, utstyr tilknyttet infrastrukturen (f.eks. skilt og signaler) og de kjøretøyene og trafikantene som kan anvende infrastrukturen. For veginfrastruktur er det siste kjøretøyer av ulike typer (bil, buss, sykkel, MC etc.) og gående og personer som forflyttes med hjelpemidler, f.eks. elektriske rullestoler.



Transporttjeneste etterspørsel omfatter den rollen som etterspør en transporttjeneste, dvs. transport av en person eller gods i ett eller flere transportsystemer. Rollen blir gjerne kalt Transporttjeneste bruker. En kollektivtrafikanter er et typisk eksempel på en slik bruker. Et annet typisk eksempel på en Transporttjeneste bruker er en vareeier som ønsker å få transportert varene sine ut til sine kunder. Transporttjeneste bruker definerer transporttjenesten, inngår avtale med Transporttjeneste forvalter (se nedenfor), betaler for transporttjenesten (forskudds- eller etterskuddsvis), benytter transporttjenesten og kontrollerer at transporttjenesten blir utført på den måten transportproduktet er beskrevet. Et fylkeskommunalt kollektivselskap, f.eks. Ruter og AtB, kan også være en Transporttjeneste bruker de gangene kollektivselskapet definerer og anskaffer kollektivtrafikkjenester.

Leveranse av transporttjenester er videre delt inn i 4 underområder:

- *Forvaltning av transporttjenester* som omfatter ansvarsområdene knyttet til utvikling og markedsføring av transportprodukter, inngåelse av implisitte eller eksplisitte avtaler med Transporttjeneste bruker om levering av transporttjenester, inngåelse av avtale med Transporttjeneste

Operatør (se nedenfor) og kontroll av at transporttjenesten leveres slik det er avtalt mellom Transporttjeneste forvalter og Transporttjeneste operatør.

- *Utførelse av transporttjenester* som omfatter ansvarsområdene knyttet til selve transporten av person(er) og/eller gods. Transporttjeneste operatør detaljplanlegger selve transporten ut i fra det transportproduktet som er solgt og gjennomfører transporten, enten med egne transportmidler eller ved å leie inn transportmiddel og fører. En lastebilsentral (Transporttjeneste operatør) kan f.eks. ha en avtale med Bring (Transporttjeneste forvalter) om frakting av gods fra en godsterminal til flere varemottakere og kan gjennomføre denne transporten med egne eller innleide kjøretøyer.
- *Styring av transportmiddelet* omfatter ansvarsområdene knyttet til styring/kontroll av det transportmiddelet som gjennomfører transporten av person(er) og/eller gods. Lastebilsjåfør, togfører, skipskaptein og flykaptein er typiske eksempler på Fører av transportmiddelet som er navnet på den rollen knyttet til disse ansvarsområdene.
- *Styring av transportobjektet* omfatter ansvarsområdene knyttet til transporter hvor transportobjektet er autonomt mht. transporten gjennom transportsystemet. Et typisk eksempel er gods som har evnen til å ta beslutninger for å optimalisere sin egen transport gjennom transportsystemene. Denne type gods kalles gjerne intelligent gods [Dreyer & Foss, 2012].

Forvaltning av transportsystemet er videre delt inn i 3 underområder:

- *Infrastrukturforvaltning* som omfatter ansvarsområder knyttet til planlegging, bygging og drift og forvaltning av infrastruktur for transport av personer og gods, f.eks. riksvegnettet i Norge med Statens vegvesen som den aktøren som ivaretar alle ansvarsområdene. Rollen kalles gjerne Infrastrukturforvalter. Andre aktører her er Bane Nord, Kystverket og Avinor.
- *Styring av transportsystemets kapasitet* som omfatter ansvarsområder knyttet til utnyttelsen av transportsystemet, f.eks. kontroll og styring av luftrommet over Norge eller skipsleder langs kysten av Norge. Rollen kalles gjerne Infrastruktur operatør. Aktører her er Statens vegvesen, Bane Nor, Avinor og Kystverket.
- *Håndtering av nødsituasjoner* som omfatter nødetatenes funksjoner i de ulike transportsystemene. Aktører som fyller rollen Nødetater er eksempelvis politi, brann, ambulansetjenester og redningssentraler.

Regulering og håndheving er delt inn i to underområder:

- *Regulering* som omfatter alle ansvarsområder knyttet til utarbeidelse av lover og forskrifter som regulerer de tre områdene ovenfor, med spesielt fokus på Forvaltning av transportsystemet og Leveranse av transporttjenester. Noen enkle eksempler fra vegsektoren kan være alle Statens vegvesens forskrifter og normaler for planlegging, drift og vedlikehold av veger (Forvaltning av transportsystemet) og Vegtrafikkloven og Forskrift om kjøre- og hviletid (Leveranse av transporttjenester). Eksempler på aktører her er Samferdselsdepartementet og Statens vegvesen for vegsektoren.
- *Håndheving* som omfatter alle ansvarsområdene knyttet til kontroll og håndheving av at alle regler og forskrifter gitt under Regulering følges. Eksempler på aktører som utfører noen av disse ansvarsområdene kan være Jernbanetilsynet og Statens vegvesens vegtrafikkontroller.

Støttetjenester til transportområdene omfatter mange ulike typer tjenester som ikke er en del av transportsystemene, men som er generelle tjenester som støtter mange ulike områder inkludert transportområdet.

Typiske eksempler på slike tjenester er kommunikasjonstjenester og IKT tjenester, f.eks. skytjenester.

I gruppen støttetjenester kan man også inkludere ITS tjenester. Dette er en funksjonalitet som ytes til brukere av intelligente transportsystemer slik at transporten kan bli sikrere, mer effektiv, mer tilgjengelig, mer miljøvennlig og mer komfortabel. Innenfor ITS tjenesteområde finnes det to hovedroller: ITS tjeneste bruker og ITS tjenestetilbyder. Alle rollene i ARKTRANS kan være ITS tjeneste brukere og de aller fleste, med et unntak for Transporttjeneste bruker, kan være ITS tjenestetilbyder.

Ved en vurdering av potensialet til de ulike teknologiene kan det være nyttig å bruke ARKTRANS for å strukturere hvilke deler av transportsektoren og hvilke roller vi vurderer potensialet for, men det ligger utenfor målet for denne rapporten.



Teknologi for et bedre samfunn
www.sintef.no